

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра виробництва приладів

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 658.512: 658.52.011.56

«До захисту допущено»

В.О. завідувача кафедри ВП

В.В. Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 151 – Комп’ютерно інтегровані технології виробництва
приладів

(код і назва)

на тему: Підвищення ефективності технологічної підготовки складальних
процесів в малосерійному приладобудуванні

Виконав : студент II курсу, групи ПБ-61м

(шифр групи)

Архипенко Богдан Олександрович

(прізвище, ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник к.т.н доцент Стельмах Н.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант стартап-проект к.т.н., доцент, Бояринова К.О.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет
(повна назва)

Приладобудівний

Кафедра
(повна назва)

Виробництва приладів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 151 – Комп'ютерно інтегровані технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. завідувача кафедри

Шевченко В.В.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Архипенку Богдану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Підвищення ефективності технологічної підготовки складальних процесів в малосерійному приладобудуванні,
науковий керівник дисертації Стельмах Наталія Володимирівна к.т.н доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: технологічні процеси складання виробів приладобудування в умовах малосерійного виробництва

4. Предмет дослідження: технологічна підготовка малосерійного складального виробництва виробів приладобудування

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Постановка завдання моделювання технологічної структури систем малосерійного складання виробів приладобудування. Розробка системи 3D-моделювання функціональних характеристик СМС ВП. Розробка методики оптимізації технологічної структури СМС ВП на основі 3D-моделювання. Апробація методики оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП. Розробка стартап-проект, для можливості представлення продукту на ринку.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Класифікація з'єднання елементів виробу. Класифікація методів проектування технологічних процесів малосерійного складання СМВ. Приклад створення і дослідження складання виробу за допомогою системи Tescnomatix Assembly Planning. Структурна модель функціонування СДЗ СМВ. Апробація роботи та публікації за темою магістерської дисертації.

7. Орієнтовний перелік публікацій Статті та тези доповідей за темою магістерської дисертації (надано в Додатку в вигляді Форми 2б)

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проект	Бояринова К.О. к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	05.03.18	
2	Огляд і аналіз літератури за напрямком дослідження	10-18.03.18	
3	Аналіз методів малосерійного складання	19-23.03.18	
4	Моделювання організаційно-технологічної і технічної структур системи малосерійного складання	23.-30.03.18	
5	Розробка моделей	2-6.04.18	
6	Розробка рекомендацій до методики	10-13.04.18	
7	Експериментальні дослідження	13.04-30.04.18	
8	Оформлення магістерської дисертації	07.05.18	
9	Представлення МД на перевірку науковому керівнику	08.05.18	
10	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів сервісом Unichек	09.05.18	
11	Представлення МД на рецензію	10.05.18	
12	Представлення МД на затвердження завідувачим кафедрою	11.05.18	
13	Передача електронної версії МД до бібліотеки	17.05.18	
14	Представлення МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ імені Ігора Сікорського»	18.05.18	

Студент

_____ (підпис)

Архипенко Б.О.

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Стельмах Н.В.

_____ (ініціали, прізвище)

ВСТУП

Актуальність теми. Складання виробів машино- та приладобудування в умовах малосерійного виробництва характеризується низьким рівнем достовірності технологічних рішень. Це пов'язано з неможливістю пошуку оптимальних варіантів технологічних процесів для заданих організаційно-технічних умов виробництва через складність як об'єкту складання, так і засобів, що при цьому застосовуються.

Велику питому вагу в загальному об'ємі складальних операцій мають операції по складанню типових з'єднань, що характеризуються високим рівнем монотонності праці, повторюваності робочих рухів, а також що не вимагають високої кваліфікації працівника. Так, питома вага у výroбах машино- та приладобудування з'єднань по циліндричних і конічних поверхнях досягає 40%, різьбових з'єднань – 20 ... 25%, з'єднань по плоских поверхнях – 10 ... 20%. Виконання таких операцій впродовж тривалого часу призводить до зниження уваги, підвищеної стомлюваності, фізичної втоми збирача, що є головними причинами помилок, що призводять до зниження якості продукції, що виробляється.

Продуктивність праці в складальному виробництві також залежить від суб'єктивних чинників і її рівень має тенденцію до періодичної зміни. Відповідно до цього потрібна корекція виробничих завдань і розробка організаційно-технічних заходів для забезпечення необхідної тривалості, щодо випуску продукції.

На сьогоднішній день ці проблеми по-різному вирішуються з використанням АСТПВ. Розробки в області САПР ТП складання сильно розрізнені, в цілому відсутня найбільш наближена до реальних проектування і виробництва системна концепція процесу проектування ТП складання в САПР.

Одним з шляхів подолання цих проблеми є технологічна підготовка виробництва, яка базується на наведеному формуванні варіантів технологічних процесів складання і аналізі найбільш перспективних варіантів шляхом імітаційного тривимірного моделювання виробничого середовища.

Таким чином, в рамках даної роботи досліджується проектування технологічного процесу складання виробів приладобудування в умовах малосерійного виробництва без розчленування і з розчленуванням робіт з ціллю формування найбільш раціональних варіантів технологічних процесів за загальними витратами на процес складання.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає в підвищенні ефективності технологічної підготовки складального виробництва виробів приладобудування на основі варіантного проектування імітаційного тривимірного моделювання.

Для досягнення сформульованої вище мети поставлені і вирішені наступні завдання:

- Постановка завдання моделювання технологічної структури систем малосерійного складання виробів приладобудування, яка включає: опис виробу приладобудування (ВП); формулювання закономірностей функціонування системи малосерійного складання (СМС); формулювання принципів розробки технологічних структур СМС ВП; вибір критеріїв оцінки ефективності функціонування СМС ВП; опис обмежень на область дослідження.

- Розробка системи 3D-моделювання функціональних характеристик СМС ВП, яка включає: опис структури 3D-моделі функціонування СМС ВП; інформаційну модель взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу складання; модель вибору системи оцінок ефективності функціонування СМС ВП; структурно-параметричну модель 3D-імітації функціональних характеристик СМС ВП.

- Розробка методики оптимізації технологічної структури СМС ВП на основі 3D - моделювання, яка включає: методику оптимізації технологічної структури СМС ВП; узагальнену методику 3D-моделювання функціональних характеристик СМС ВП; приклад реалізації методики оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП;

- Апробація методики оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП, яка включає: аналіз існуючої технологічної структури складального

виробництва; постановку завдання підвищення ефективності систем складання вузлів; аналіз початкових даних для моделювання їхніх технологічних структур; аналіз результатів моделювання технологічних структур систем складання і розрахунок техніко-економічної ефективності отриманих результатів.

Об'єкт дослідження - технологічні процеси складання виробів приладобудування в умовах малосерійного виробництва.

Предмет дослідження - технологічна підготовка малосерійного складального виробництва виробів приладобудування.

Методи дослідження. При виконанні магістерської дисертації на етапі формулювання принципів складання виробів приладобудування були залучені основні положення технології приладобудування. Для формалізації основних положень математичної моделі складання були застосовані теорія графів, математична логіка. Елементи комбінаторики і теорія алгоритмів були застосовані при формуванні варіантів технологічних процесів. Для поглибленої оцінки варіантів технологічних процесів в умовах діючого виробництва були застосовані комп'ютерне моделювання.

Наукова новизна полягає в тому, що на основі комплексного аналізу особливостей складання ВП розв'язано науково-технічну задачу підвищення ефективності складальних процесів в умовах малосерійного виробництва шляхом прогнозування структур та параметрів системи технологічної підготовки виробництва на засадах 3D-імітаційного моделювання. Для цього:

- Вдосконалено математичну модель складання виробу в частині зв'язку між конструктивно-технологічними властивостями з'єднань, організаційно-технічною і технологічною структурами ділянки складання і можливими послідовностями виконання технологічного процесу, яка представлена у вигляді множини траєкторій взаємних переміщень і позиціонування деталей, робочих, складальних, транспортних агрегатів і людини, а також накопичувачів системи складання.

- Отримала подальший розвиток узагальнена математична модель функціональної структури системи складання.

- Удосконалено механізму імітаційного 3D-моделювання роботи системи складання на рівнях: ділянка, склад, робоче місце (операція), технологічний перехід (прийом роботи), транспортна система.

- Запропоновано алгоритми і імітаційні логіко-лінгвістичні моделі структурно-параметричного синтезу СМС ВП, засновані на об'єктно-орієнтованому підході до цілеспрямованого пошуку і оцінки варіантів структур і параметрів малосерійного складання ВП.

Практичне значення:

1. Розроблена узагальнена методика формування структури і параметрів технологічних процесів малосерійного складання виробів приладобудування на основі імітаційного тривимірного моделювання роботи виробничої системи на рівні переходу, операції і маршруту складання, що дозволяє виконувати наскрізне технологічне проектування систем складання.
2. Розроблені усі види забезпечення комплексу програм імітаційного тривимірного моделювання функціональної структури системи складання виробів приладобудування.
3. Здійснено впровадження системи проектування складальних технологічних процесів на основі імітаційного тривимірного моделювання на підприємстві.

Апробація результатів дослідження. Основні положення і результати досліджень, які викладені в дисертації, були представлені і обговорені на XI Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 р. м. Київ, Україна.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Підвищення ефективності технологічної підготовки складальних процесів в малосерійному приладобудуванні» складається із 100 аркушів. До неї входять 37 рисунків, 30 таблиць, 7 додатків. В роботі використано 76 бібліографічних найменувань.

Основним завданням роботи є підвищення ефективності технологічної підготовки складального виробництва виробів приладобудування на основі варіантного проектування імітаційного тривимірного моделювання.

У магістерській дисертації виконано теоретичне узагальнення і нове розв'язання науково-технічної задачі підвищення ефективності складального виробництва приладобудівних виробів шляхом прогнозування структур та параметрів систем організаційно-технологічної і технічної підготовки виробництва на засадах 3D імітаційного моделювання.

Основний зміст магістерської дисертації відображено у 6 наукових працях, з них: 1 стаття у науковому фаховому виданні України, 1 стаття у закордонному віснику, 4 тези доповідей на науково-технічних конференціях і семінарах.

ABSTRACT

Master's dissertation on "Improving the efficiency of technological preparation of assembly processes in small-scale instrument making" consists of 100 sheets. It includes 37 drawings, 30 tables, 7 applications. 76 bibliographic titles have been used in the work.

The main task of the work is to increase the efficiency of technological preparation of assembly production of instrumentation products on the basis of a variant design of simulation three-dimensional modeling.

In the master's dissertation the theoretical generalization and the new solution of the scientific and technical task of increasing the efficiency of the assembly production of instrument making products by the forecasting of structures and parameters of the systems of organizational, technological and technical preparation of production on the fronts of 3D simulation simulation were performed.

The main content of the master's dissertation is reflected in 6 scientific works, among them: 1 article in the scientific specialty magazine of Ukraine, 1 article in the foreign bulletin, 4 theses of reports at scientific and technical conferences and seminars.

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ І ПОЗНАЧЕННЯ

Скорочення	Опис
АСТПВ	Автоматизована система технологічної підготовки виробництва
ДП	Державне підприємство
ЕОМ	Електроннообчислювальна машина
МІМ	Математичне імітаційне моделювання
ПВ	Партія виробів
РМС	Робоче місце складальника
СМС	Система малосерійного складання
ВП	Виріб приладобудування
СС	Складська система
ТО	Технологічна операція
ТП	Технологічний процес
ТС	Транспортна система

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РЕФЕРАТ.....	8
ABSTRACT.....	9
Master's dissertation on "Improving the efficiency of technological preparation of assembly processes in small-scale instrument making" consists of 100 sheets. It includes 37 drawings, 30 tables, 7 applications. 76 bibliographic titles have been used in the work.....	9
The main task of the work is to increase the efficiency of technological preparation of assembly production of instrumentation products on the basis of a variant design of simulation three-dimensional modeling.....	9
In the master's dissertation the theoretical generalization and the new solution of the scientific and technical task of increasing the efficiency of the assembly production of instrument making products by the forecasting of structures and parameters of the systems of organizational, technological and technical preparation of production on the fronts of 3D simulation simulation were performed.....	9
The main content of the master's dissertation is reflected in 6 scientific works, among them: 1 article in the scientific specialty magazine of Ukraine, 1 article in the foreign bulletin, 4 theses of reports at scientific and technical conferences and seminars.....	9
ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ І ПОЗНАЧЕННЯ.....	10
ЗМІСТ.....	11
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ МАЛОСЕРІЙНОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ	
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ.....	13
1.1. Класифікація і характеристика методів малосерійного складання виробів приладобудування.....	13
1.2. Класифікація і характеристика методів проектування технологічних процесів малосерійного складання виробів приладобудування.....	17
1.3. Аналіз методів оцінки технологічних рішень при проектуванні технологічних структур систем складального виробництва.....	23
1.4. Висновки та постановка задачі.....	35
2. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНОЇ І ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУР СМС ВП.....	38
2.1. Опис обмежень щодо області дослідження.....	38
2.2. Принципи функціонування СМС ВП.....	42
2.3. Принципи розробки організаційно-технологічних структур СМС ВП.....	52
2.4. Критерії оцінки ефективності функціонування СМС ВП.....	54

2.5. Структурна модель функціонування СМС ВП.....	57
2.6. Логіко-лінгвістична модель взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу складання.....	59
2.6.1. Модель взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу складання.....	59
2.7. Формальний запис умов складання СМВ.....	60
2.8. Модель зміни станів при моделюванні роботи системи складання виробу.....	61
Висновки по розділу 2.....	65
3. МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ МАЛОСЕРІЙНОГО СКЛАДАННЯ ПРИЛАДОБУДІВНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	66
3.1. Загальна методика оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП.....	66
3.2. Методика 3D - моделювання функціональних характеристик СМС ВП.....	75
Висновки по розділу 3.....	75
4. АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ СМС ВП.....	77
4.1. Аналіз існуючих організаційно-технічної і технологічної структур складального виробництва.....	77
4.2. Постановка завдання підвищення ефективності системи складання вузла "Привід генератора".....	79
Приклад моделі взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу представлений у Додатку Г.....	80
Висновки по розділу 4.....	81
5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ В МАЛОСЕРІЙНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ».....	82
5.1 Опис ідеї проекту.....	82
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99
ДОДАТОК А.....	108
Основні організаційно-технічні властивості СМС і конструктивно-технологічні властивості ВП.....	109
ДОДАТОК Б.....	114
Формальний запис умов складання виробу приладобудування.....	115
ДОДАТОК В.....	125

Методика 3D - моделювання функціональних характеристик СМС ВП.....	126
Приклад моделі взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу складання виробу "Блок циліндрів"	137
Аналіз результатів моделювання організаційно-технологічної структури системи складання вузла "Привід генератора"	139

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ МАЛОСЕРІЙНОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

1.1. Класифікація і характеристика методів малосерійного складання виробів приладобудування.

Виготовлення в сучасних умовах виробів приладобудування пов'язано з високими ризиками техніко-економічного характеру.

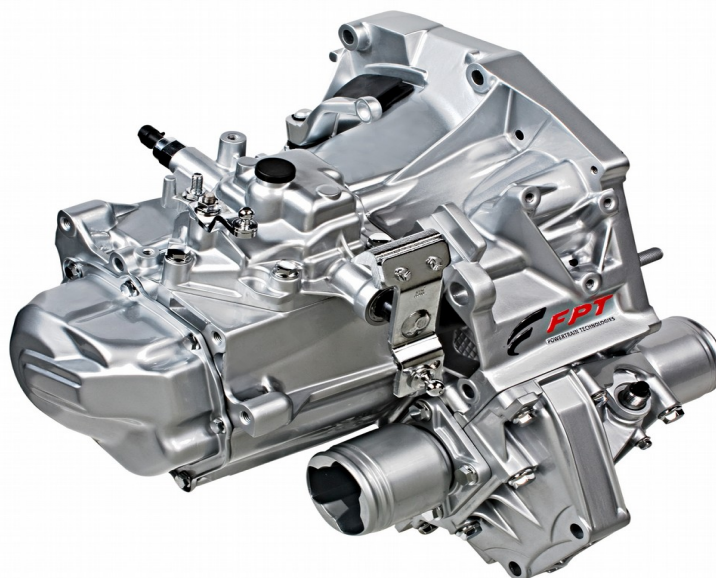


Рис. 1.1. Приклад виробу приладобудування

При цьому вага операцій складання займає значну частину технологічного процесу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Розподіл питомої ваги складальних робіт в трудомісткості виробництва продукції

Галузь машинобудування	Питома вага складальних робіт в трудомісткості виробництва виробів (%)	Рівень механізації і автоматизації складальних робіт (%)
1 Важке машинобудування	35	8-12
2 Верстатобудування	25	22-25
3 Автомобілебудування	50	18-20
4 Приладобудування	40-42	10-12

Велику питому вагу в загальному об'ємі складальних операцій займають операції по складанню типових з'єднань, що характеризуються високим рівнем монотонності праці, повторюваності робочих рухів, а також які не вимагають високої кваліфікації працівника (рис. 1.2). Так, питома вага у виробках приладобудування з'єднань по циліндричних і конічних поверхнях досягає 40%, різьбових з'єднань – 20 ... 25%, з'єднань по плоских поверхнях – 10 ... 20% [3, 13]. Виконання таких операцій впродовж тривалого часу призводить до

зниження уваги, підвищеної стомлюваності, фізичної втоми складальника, що є головними причинами помилок, що призводять до зниження якості продукції, що виробляється.

Тенденції розвитку сучасного виробництва, що полягають у безперервному збільшенні випуску виробів як за номенклатурою, так і за об'ємом, призводять до неухильного росту питомої трудомісткості складальних операцій (рис. 1.3) і, отже, до зростання потреб у виробничих площах і у збільшенні чисельності

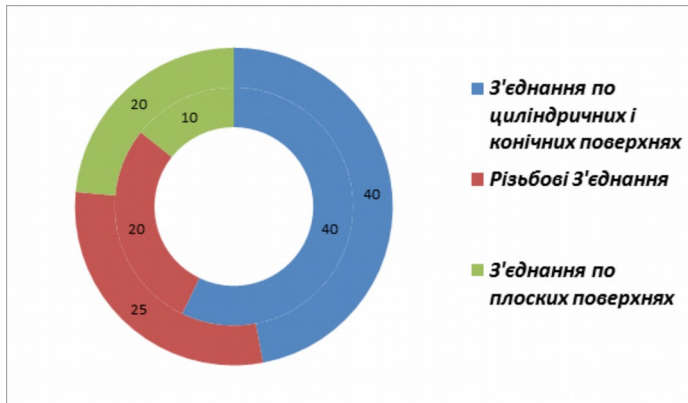


Рис. 1.2. Питома вага з'єднань у СМВ, %

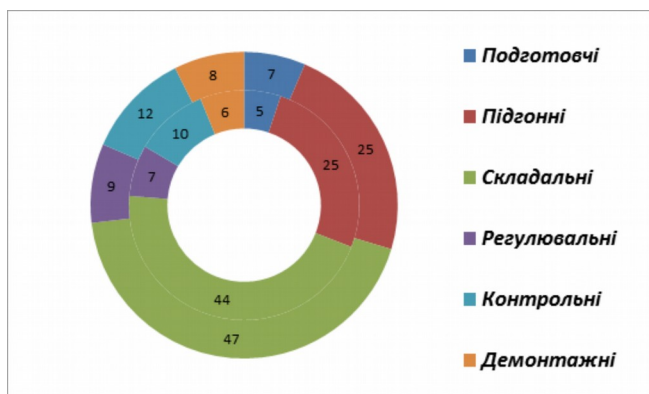


Рис. 1.3. Питома вага трудомісткості робіт малосерійного складання, %

робітників, що зайняті в складальному виробництві.

Продуктивність праці в складальному виробництві також опиняється залежною від суб'єктивних чинників і її рівень має тенденцію періодичної зміни. Відповідно до цього потрібна корекція виробничих завдань і розробка організаційно-технічних заходів для забезпечення необхідної тривалості, що до випуску продукції (табл. 1.2, 1.3, [3]).

На сьогодні ці проблеми по-різному вирішуються з

використанням АСТПВ. Розробки в області САПР ТП складання сильно розрізнені, в цілому відсутня найбільш наближена до реальних проектування і виробництва системна концепція процесу проектування ТП складання в САПР.

Мінімальна програма випуску виробів в умовах
автоматичного складання

Найменший розмір деталі, мм	Максимальна тривалість циклу, с	Програма випуску, тис. шт./рік
До 100	7	800
100-300	18	320
Більш 300	30	200

На сьогоднішній день процес

проектування

складальних

технологічних процесів у

САПР може бути

представлений

наступним чином:

1) вибір методу

досягнення заданої

точності складання; 2)

декомпозиція виробу

(складальної одиниці)

відповідно до їх

технологічної структури;

3) вибір базових деталей для вузлової і загальної складання; 4) виділення в конструкції розмірних ланцюгів, їх розрахунок по методиках, що задаються користувачем, інтерпретація результатів розрахунку; 5) формування власне ТП складання, його маршрутно-операційного викладу, технічне нормування; 6) вибір і оптимізація варіантів ТП складання відповідно до заданих критеріїв (цільовими функціями); 7) оформлення технологічної документації на спроектований ТП.

При цьому ефективність складального процесу визначається наступними складовими: якістю складання; продуктивністю системи складання; витратами на реалізацію складального процесу. А управління цими параметрами реалізується на етапах: конструкторської підготовки виробу; технологічної підготовки виробничого процесу; організаційної і технічної підготовки процесу складання.

Таблиця 1.3.

Річний випуску виробів у тисячах штук при використанні різних типів складального обладнання

Складальні пристосування, механізований інструмент (гайковерти, гвинтовенти і т. і.)	До 20
Складальні пристрої з механізованою подачею деталей до місця складання	20-100
Однопозиційні напіваавтомати	100—200
Багатопозиційні напіваавтомати та автомати	200—1000
Автоматичні складальні лінії	Більш 1000

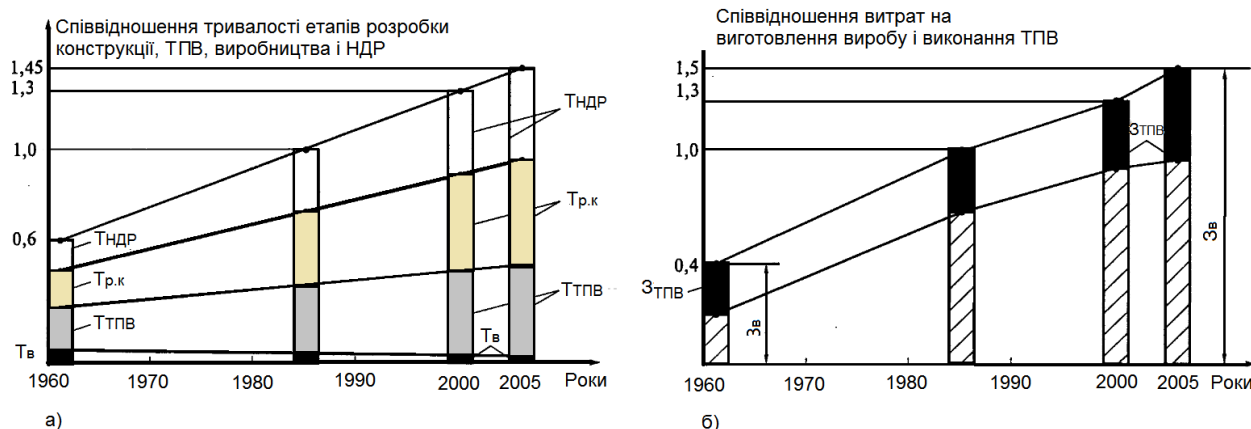


Рис. 1.4. Тенденції зміни співвідношень для тривалості виробництва і затрат на виготовлення виробу (за О.І. Кандаковим): $T_{р.к}$ - тривалість етапів розробки конструкції; $T_{тпв}$ - тривалість етапів технологічної підготовки виробництва; $T_{п}$ - тривалість етапів виробництва; $T_{ндр}$ - тривалість етапів науково-дослідної роботи; $З_{в}$ - витрат на виготовлення виробу; $З_{тпв}$ - витрат на виконання технологічної підготовки виробництва.

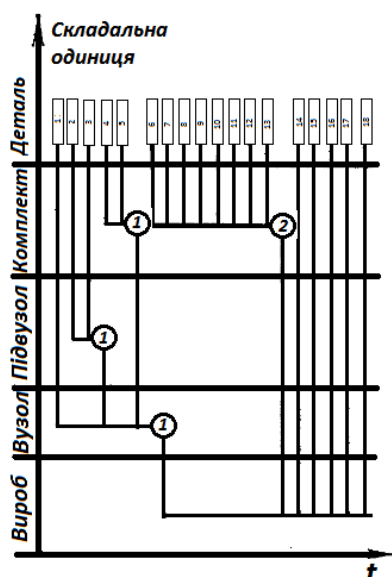
Тому створення ефективного ТП складання з комплексним обліком вище приведених чинників є актуальною проблемою технології приладобудування.

1.2. Класифікація і характеристика методів проектування технологічних процесів малосерійного складання виробів приладобудування

Проектуванню технологічного процесу складання передуює ділення виробу на ряд складальних одиниць і деталей.

Складові частини (складальні одиниці) можуть бути спроектовані з урахуванням конструкторських і технологічних вимог (ДСТУ 3.1108-82), відповідно до яких розрізняють конструктивні складальні одиниці, технологічні складальні одиниці і вузли.

Класифікація об'єктів складання приладобудівного виробництва. У приладобудуванні виробом називається предмет виробництва, що підлягає виготовленню. Виробом виступає пристрій, механізм, інструмент і тому подібне і їх складові частини: вузол, підвузол, комплект, деталь (рис. 1.5).



Конструктивна складальна одиниця — одиниця, спроектована лише за функціональним принципом без урахування особливого значення умов незалежної і самостійної складання. Прикладом конструктивних складальних одиниць є механізми газорозподілу, системи паливо — і маслопроводів двигунів.

Деталь — виріб, що виготовлено з однорідного по найменуванню і марці матеріалу без застосування складальних операцій.

Рис. 1.5. Структура виробу *Базова деталь* — деталь з базовими поверхнями, що є сполучною ланкою, яка забезпечує при складанні відповідне відносне положення інших деталей, що виконує в складальному з'єднанні (вузлі).

Складальна одиниця — виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню між собою на підприємстві - виготовнику шляхом складальних операцій (згвинчування, запресовування, клепкою, зварюванням, пайкою, розвальцьовуванням і тому подібне). Наприклад, верстат, автомобіль, редуктор, зварний корпус.

Комплекс — два і більше специфіковані вироби, що не сполучені на підприємстві - виготівнику складальними операціями, але призначені для взаємозв'язаних експлуатаційних функцій.

Комплект — два і більше вироби, сполучені на підприємстві складальними операціями, або набір виробів, що мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (наприклад, комплект запасних частин, комплект інструменту, комплект вимірювальних інструментів).

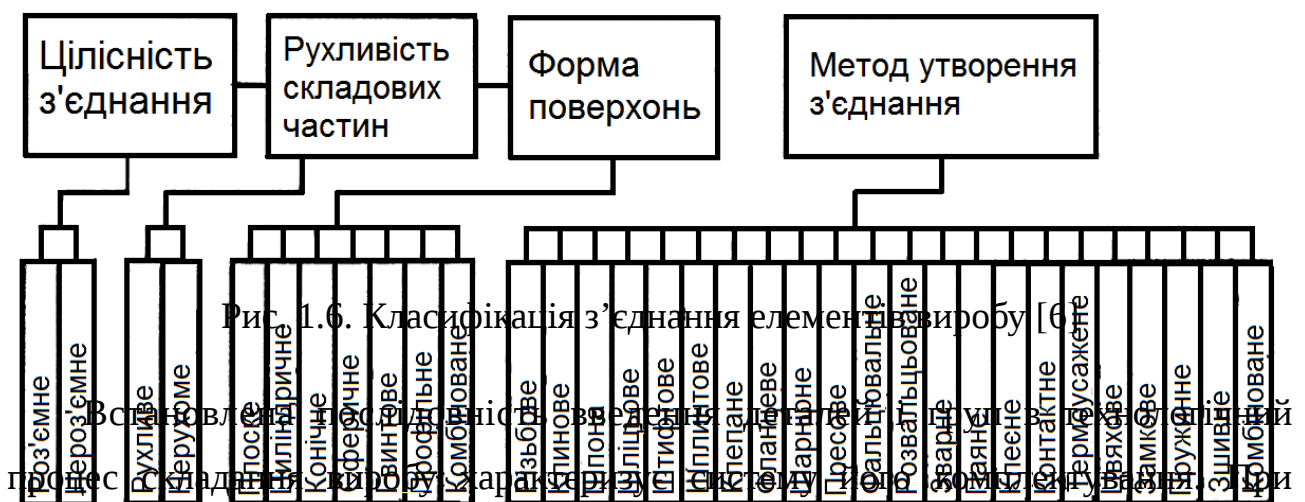
Технологічна складальна одиниця, або вузол — складальна одиниця (чи вироби в цілому), яка може збиратися окремо від інших складових частин виробу і виконувати певну функцію у виробках одного призначення тільки спільно з іншими складовими частинами (ГОСТ 23887-79). Наприклад, голівки

блоку циліндрів.

Агрегат — це складальна одиниця, що має повну взаємозамінюваність, можливість складання окремо від інших складових частин виробу (чи вироби в цілому) і здатність виконувати певну функцію у виробі або самостійно. Складання виробу або його складової частини з агрегатів називається агрегатною.

Складання — це технологічні процеси з'єднання окремих його елементів у певній послідовності в складальні одиниці та цілі пристрої.

Технологічний процес складання — процес, що містить дії з установки і утворення з'єднань складових частин виробу. При цьому, необхідно з заданою точністю реалізувати з'єднання, класифікація яких наведена на рис. 1.6.



цьому послідовність комплектування може бути *одноваріантною*, у разі простих складальних одиниць, і *багатоваріантною* для комплексних груп і виробів.

Складальна операція — технологічна операція встановлення і утворення з'єднань складових частин виробу.

Класифікація видів складання за функціональними ознаками: в прив'язці до об'єктів складання; стадій складання; організації виробництва; послідовності складання; рухливості складання; механізації і автоматизації складання; точності складання наведена на рис. 1.7.

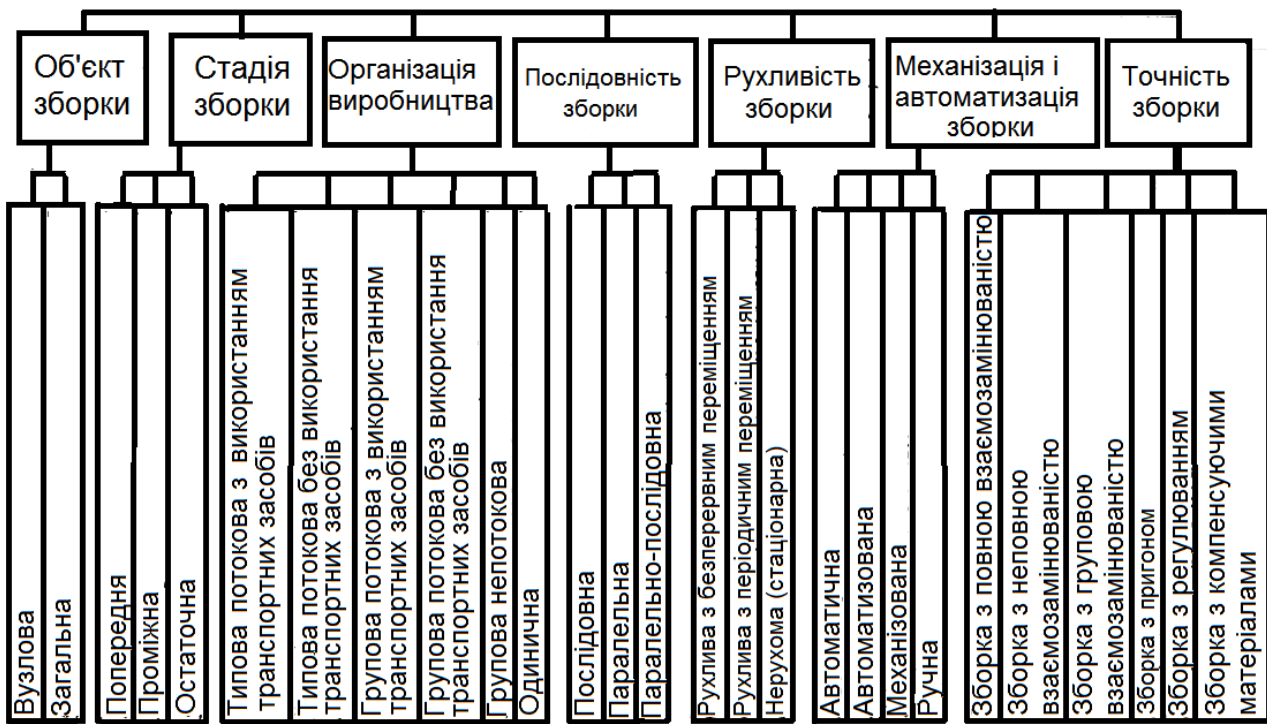


Рис. 1.7. Класифікація видів складання за функціональними ознаками [6]

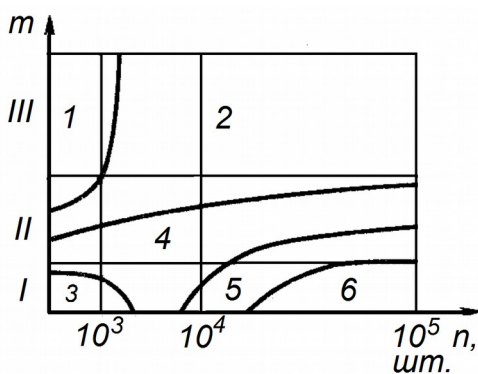


Рис. 1.8. Сфери застосування різних способів складання залежно від річної програми випуску (n) і складності виробів (m) [6]:

де / - прості вироби (до 5-8 деталей); // - вироби середньої складності (6-20 деталей); /// - складні вироби (більше 20 деталей); 1 - ручна Складання; 2 - ручна механізована Складання; 3 - універсальні роботи; 4 - спеціалізовані роботи; 5 - спеціальні роботи; 6 - автоматична Складання на

Підходи до реалізації технологічних структур систем складання. На основі вивчення призначення виробу, його складальних і робочих креслень, а також наміченого обсягу випуску виробу в цілому і його складальних одиниць вибирають вид і організаційну форму процесу складання (рис. 1.8).

Для складання виробів великої маси, при відносно невеликій програмі випуску, застосовують нерухому поточкову складання, при якій бригада робітників періодично переміщується від одного робочого місця до іншого.

За видом виробничого процесу складання може бути *поточковим* і *непоточковим*, кожен з яких розділяють на

стаціонарну і рухливу. Потокове рухливе складання здійснюють з періодичним і безперервним рухом збираного об'єкту. При великому числі виробів, що підлягають виготовленню, або їх складальних одиниць, слід з'ясувати економічність використання потокової складання. Якщо конструкція виробу має достатню жорсткість базової деталі і порівняно невелику масу, то доцільно вибрати рухливу складання з безперервним переміщенням складального виробу. Інакше слід зупинитися на рухливій складанні з періодичним переміщенням складального виробу.

Вироби великої маси, при їх відносно невеликій кількості, економічно збирати з використанням потокової складання з бригадами робітників, що періодично переміщаються, від одного об'єкту складання до іншого.

Зі зменшенням кількості виробів, що підлягають виготовленню, коли використання потокової складання стає неекономічним, слід застосовувати непотокову складання з об'єктами, що переміщаються. При одиничному виготовленні виробів або їх невеликій кількості використовують непотокове стаціонарне складання.

З усієї наведеної різноманітності форм організації виробничого процесу складання при розробці технологічного процесу складання потрібно вибирати найбільш ефективну для конкретних умов виробництва. *Вирішальним чинником є кількість виробів, що підлягають складанню.*

При великих кількостях тих виробів або їх складальних одиниць, що підлягають виготовленню, слід з'ясувати економічність використання потокового виду складання. Якщо конструкція виробу має достатню жорсткість базуючої деталі і відрізняється порівняно невеликою масою, доцільно вибрати рухливе складання з безперервним переміщенням збираного виробу; інакше слід зупинитися на рухливому складанні з переривчастим переміщенням збираного виробу.

Вироби великою масою при відносно невеликих кількостях економічно збирати з використанням потокового виду складання і з бригадами робітників, що періодично переміщаються, від одного об'єкту складання до іншого.

Зі зменшенням кількості виробів, що підлягають виготовленню, коли використання потокового виду складання стає неекономічним, слід застосувати непотоковий вид складання з об'єктами, що переміщуються. При одиничному виготовленні машин або малих їх кількостях доводиться використати непотоковий вид стаціонарної операції складання.

Розробляючи послідовність складання виробу, необхідно враховувати, що увесь складальний процес складається з наступних стадій: ручна слюсарна обробка і пригонка деталей (застосовується в одиничному і малосерійному виробництві); попереднє складання (з'єднання деталей в окремі складальні одиниці); загальна або остаточне складання (складання усього виробу); регулювання (вивірення правильності взаємного положення і взаємодії усіх елементів виробу); випробування виробу.

На загальне складання повинні подаватися в як можна більшій кількості, заздалегідь скомплектовані, складальні одиниці і в можливо меншій кількості окремі деталі. *Загальне складання* має бути максимально звільнена від виконання дрібних складальних з'єднань і різних допоміжних робіт.

При складанні виробів і їх складальних одиниць для полегшення праці і збільшення продуктивності застосовують різні засоби технологічного оснащення складальних робіт. Вибір цих засобів (інструменту, пристосувань і устаткування) залежить від числа збираних виробів, їх габаритних розмірів, необхідної точності розмірних і кінематичних ланцюгів і прийнятих методів досягнення точності. Найбільшій продуктивності і точності з'єднання деталей при складанні досягають за допомогою різних механізованих інструментів, пристосувань і складальних автоматизованих верстатів.

Механізований інструмент з електричним, пневматичним і гідравлічним приводами відрізняється універсальністю і порівняно невеликими габаритними розмірами.

За принципом роботи такий інструмент ділять на наступні групи [5]: ударної дії — молотки, що клепають і рубильно-чеканочні, шабери, кернери, вібратори і трамбівки; обертальної дії — свердлувальні дрилі, шліфувальні

машинки, гайковерти, гвинтоверти, шпильковерти, шуруповерти та ін.; дії, що давить, — ножиці, пристрої для гнучкі різних профілів і труб.

Пристосування, що застосовуються при складанні, за призначенням підрозділяються на наступні види [5]: для встановлення і з'єднання деталей; для кріплення базових деталей складальних одиниць; для зняття і підйому деталей; для зміни положення збираного виробу; для виконання суто специфічних операцій, наприклад, для регулювання клапанів двигуна; контрольні пристосування; пристосування-кондуктори, що дозволяють поєднати складання з контролем взаємного положення збираних деталей; пристосування для випробувань та ін.

В якості підйомно-транспортного устаткування використовують мостові крани, електричні і гідравлічні підйомники з різною вантажопідйомністю і висотою підйому. Для транспортування деталей, складальних одиниць застосовують спеціальні візки, електрокари. Для рухливого складання застосовують стрічкові, візкові, карусельні і підвісні конвеєри.

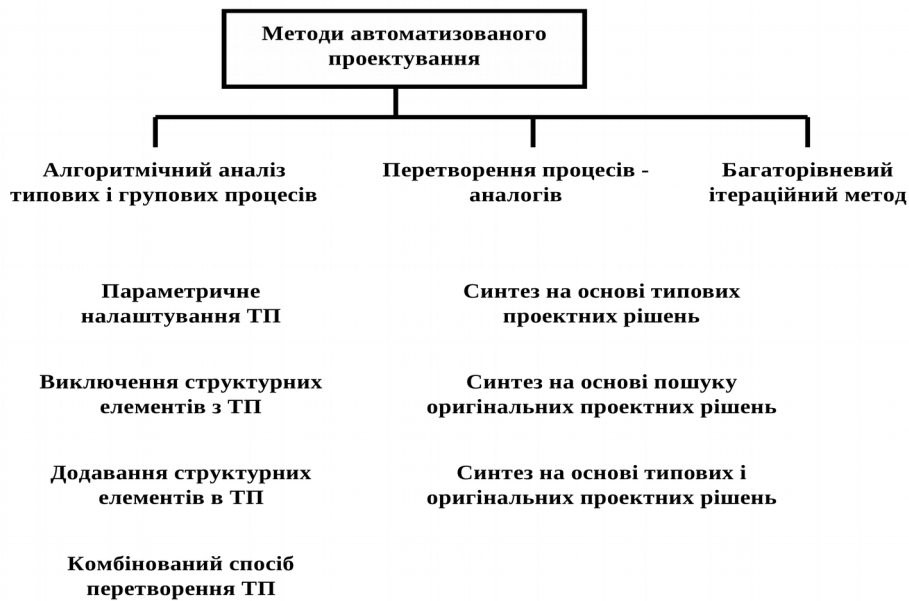
1.3. Аналіз методів оцінки технологічних рішень при проектуванні технологічних структур систем складального виробництва

Складальний процес - найбільш трудомістка частина технологічного циклу виробництва і такий, що важко піддається алгоритмізації. У розвитку технології виробничих процесів простежується тенденція переходу до науково-орієнтованого процесу, спрямованого на забезпечення якості виробів і ефективності їх виробництва на сучасному етапі розвитку виробництва на основі створення оптимізованих комп'ютерних технологій.

З урахуванням тенденцій розвитку приладобудування [3] підвищити ефективність складання ВП можна за рахунок широкого використання можливостей комп'ютерно-інтегрованого виробництва і математичного віртуального оптимізаційного моделювання. Це дає можливість якнайповніше використати інформацію про виріб на різних етапах його виробництва.

Склад, послідовність та класифікацію методів проектування технологічних процесів СМС ВП можна визначити: за функціональними ознаками об'єкту складання; рівнем автоматизації процесів проектування і складання; за методами складання; за точністю проектування і складання; за продуктивністю виробничого процесу (рис. 1.10).

А. Класифікація методів проектування ТП за В.Д. Цветковим



Б. Класифікація методів проектування ТП за С. П. Мітрофановим

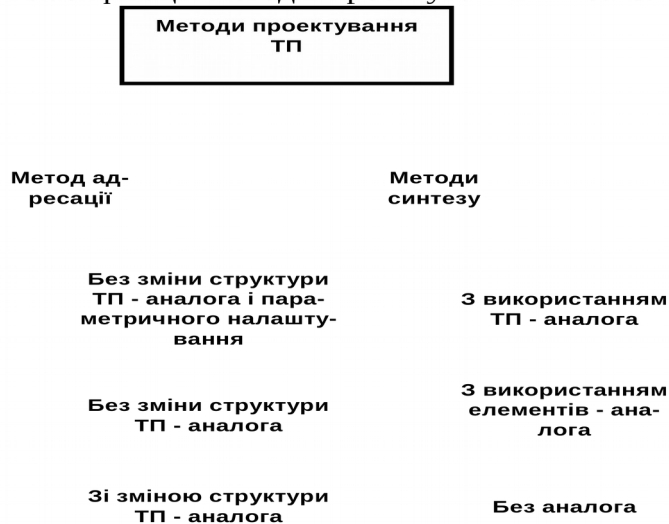


Рис. 1.9. Класифікація методів проектування технологічних процесів малосерійного складання СМВ [13, 71]

Складання є завершальним етапом технологічного процесу виготовлення виробу. Основними вихідними показниками процесу складання є геометрична точність виробу, що характеризується точністю траєкторії руху елементів виробу і відносного положення деталей, що рухаються, а також якістю з'єднання : натягом і нерухомих з'єднаннях, проміжком в рухливих з'єднаннях.

Завдання точності виготовлення машин та приладів є пріоритетним виробничим завданням, про що свідчить велика кількість наукових робіт в цій галузі знань.

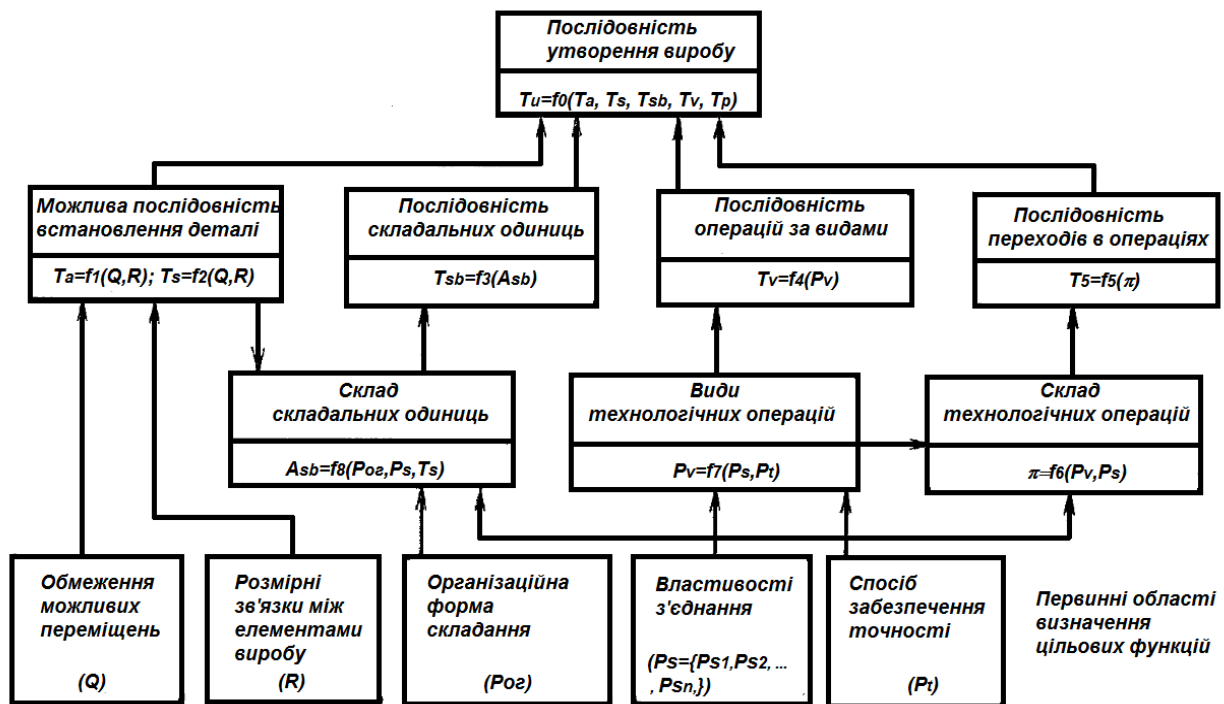


Рис. 1.10. Схема зв'язків цільових функцій при формуванні послідовності утворення виробу [1]

Розглянемо процес утворення геометричних похибок виробу в процесі складання. Причинами утворення похибок відносного положення виконавчих поверхонь виробу або його складальних одиниць є: наявність проміжків в рухливих сполучених деталях; неповний комплект конструкторських баз; невідповідність конструкторських баз вимогам, що до них; неправильне застосування силового замикання в деталях, що сполучаються; пружні і теплові деформації деталей.

Серед чинників, які викликають геометричні погрішності складання виробу, більший вплив має *геометрична неточність деталей*, що поступають на складання, а також *пружні і теплові переміщення деталей*, що зібрані, складальних одиниць і елементів складальної системи. У тих випадках, коли деталі, що входять в розмірні ланцюги виробу, з'єднуються по рухливих посадках, наявність проміжку в з'єднанні призводить до появи погрішностей на замикаючій ланці [4, 7, 10, 13, 22, 23, 29].

Великий вплив на точність встановлення деталі при складанні і на якість з'єднання має *силове замикання*: відхилення повороту кріпильних отворів відносно баз деталей, неперпендикулярність майданчиків, на які спираються гайки і голівки болтів відносно осей кріпильних отворів, а також неперпендикулярність торців болтів до їх різьблення зміщують точки прикладення сил закріплення від осей кріпильних деталей до країв гайок або голівок болтів; із-за коливань сил затягування, сил опору у різьбах сили закріплення відрізняються від своїх розрахункових значень. В результаті на закріплену деталь або складальну одиницю впливає система сил, що випадково сформувалася, і чималу роль в її формуванні гратимуть конструктивні особливості деталі, властивості матеріалу, послідовність затягування кріпильних деталей та ін.

Перераховані чинники призводять до пластичної і пружної деформації стиків, самих деталей і складальних одиниць. При цьому в процесі закріплення можуть виникати деформації вигину, кручення і інших видів, складки, що знижують якість, і працездатність виробів.

Таким чином, очевидно, що точність складання, багато в чому, залежить від того, як прикладаються сили затиску і в якій послідовності.

Правильна послідовність закріплення гвинтів або гайок на шпильках ґрунтується на принципі скорочення пружних деформацій деталей, що сполучаються, в напрямі від середини до країв або, іншими словами, на принципі "розполовинення" погрішностей. Для цього спочатку необхідно закріпити гвинти або гайки, розташовані на перетині осей симетрії поверхонь

деталей, що сполучаються, потім, у напрямі осей симетрії (хрест на хрест), переходити поступово до гвинтів, розташованих на найбільших відстанях один від одного [Error: Reference source not found].

При монтажі тонкостінних деталей вони часто деформуються, що призводить до спотворення геометричної форми, особливо в тих випадках, коли з'єднання здійснюється з натягом. У таких з'єднаннях охоплювана деталь має більший зовнішній розмір, чим розмір отвору в деталі, що охоплює, в результаті в матеріалах сполучених деталей виникають напруга і сили тертя, що перешкоджають їх зрушенню. Внаслідок натягу на поверхнях контакту виникають тиски (P), визначальні характер деформації охоплюваної і такої, що охоплює деталей [Error: Reference source not found].

Відхилення форми поверхонь сполучення деталей, що контактують, призводять до нерівномірного розподілу тиску і деформацій деталей як в процесі з'єднання, так і після закінчення його. Це викликає нерівномірні розширення тієї, що охоплює і усадку охоплюваної деталей в їх повздовжньому і поперечному напрямках. В результаті можуть виникнути не лише відхилення форми отвору у втулці і зовнішній поверхні деталі, що охоплює, але і відхилення відносно положення зібраних деталей.

Аналогічні явища викликає і *неоднорідність властивостей матеріалів деталей, що сполучаються*. Нерівномірні пружні властивості матеріалом деталей в різних їх частинах відбиваються на розподілі тисків, а отже, на якості і точності з'єднання деталей з натягом.

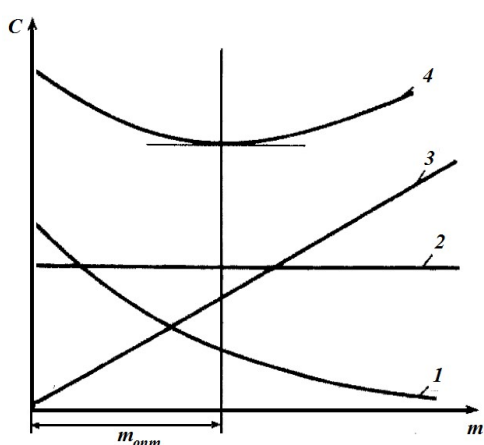
Іншою причиною неправильного положення деталі після її монтажу є *невідповідність конструкторських баз деталі вимогам щодо них*. В результаті змінюється призначення цих баз, яке призводить до іншої схеми базування і погрішності встановлення деталі.

В процесі складання вимагається *забезпечити задану точність* не лише відносного положення деталей у виробі, але і точність їх руху. Часто у виробках вимагається *забезпечити точність обертання деталей*.

Приступаючи до вибору методів досягнення необхідної точності виробу, передусім необхідно сформулювати завдання, які вимагається вирішити в процесі досягнення його точності. Ці завдання витікають з вимог до точності виробу, і кожна з них торкається *забезпечення точності одного з параметрів розмірних ланцюгів*. При проведенні конструктором розрахунків на точність вже були обрані методи її досягнення по кожному з параметрів. Технологіві необхідно встановити ці методи, оцінити, чи вдалий їх вибір при заданому масштабі випуску, організаційній формі процесу, перевірити правильність постановки розмірів і допусків в кресленнях виробу і наявність компенсаторів, якщо досягнення необхідної точності якихось параметрів передбачається вести методом регулювання або пригону.

Для успішного виконання цього завдання необхідно розглянути конструкторські розмірні ланцюги. При побудові розмірних ланцюгів необхідно мати на увазі [31, 35]:

- розмірний ланцюг має бути завжди замкненим;
- може мати тільки одну замикаючу ланку;
- зміна розміру будь-якої складової ланки розмірного ланцюга спричинює



зміну положення інших ланокі розміру замикаючої ланки.

При рішенні прямої задачі першою має бути виявлена початкова ланка, що відбиває суть вирішуваної задачі.

Необхідна точність виробу в процесі його складання досягається через *технологічні розмірні ланцюги*. Збіг технологічного розмірного ланцюга з конструкторським можливий лише досягши точності його замикаючої ланки одним з методів взаємозамінюваності.

Рис. 1.11. Графік визначення оптимальної партії складання вузлів:

m - розмір партії деталей; 1 - характеризує собівартість складання виробу; 2 - витрати на переналадку складального обладнання; 3 - витрати на ріст незавершеного виробництва і розширення виробничих площ для зберігання виробів (особливо великих габаритів); 4 - в області свого мінімуму дає оптимальний розмір партії складання ($m_{\text{опт}}$).

Технолог, що розробляє технологічний процес складання виробу, повинен не лише чітко представляти розмірні зв'язки, що виникають при обраній їм побудові технологічного процесу, але і свідомо формувати технологічні розмірні зв'язки, домагаючись більшої точності і економічності процесу складання (рис. 1.11, [Error: Reference source not found, 73]).

При діленні виробу на складальні одиниці і деталі у більшості випадків прийнято керуватись наступними рекомендаціями [5]:

- складальна одиниця не має бути занадто великою за габаритними розмірами і масою або складатись з великої кількості деталей і сполучень;
- якщо в процесі складання потрібно проведення випробувань, обкатки або спеціального слюсарного пригону складальної одиниці, то вона має бути виділена в особливу складальну одиницю;
- складальна одиниця при подальшому монтажі її в машині не повинна піддаватися якому-небудь розбиранню, але якщо це неминуче, то відповідні розбірні роботи необхідно передбачити в технології;
- більшість деталей машин, виключаючи її головні базові деталі, а також деталі кріплення і різьбові з'єднання, мають бути включені в ті або інші складальні одиниці, з тим, щоб скоротити кількість окремих деталей, що безпосередньо подаються на загальне складання;
- трудомісткість складання має бути приблизно однакова для більшості складальних одиниць;

$$\begin{cases} T_{i\overline{w}} = \sum_{j=1}^{N_i} t_{ji} & , \\ t_{wi,j} = \sum_{i=1}^n t_{npi} \left[1 + \frac{\beta + \gamma}{100} \right], \end{cases} \quad (1.1)$$

де: T_i - працемісткість загальної складання і-го виробу; N_i - річна програма випуску і-го виробу; n - кількість робочих місць; $t_{wi,j}$ - штучний час складання і-го виробу на j -й операції; t_{npi} - час на виконання і-го елементу складальної операції; β , γ - коефіцієнти, що визначають час на організаційне

обслуговування і перерви;

- габаритні розміри складальних одиниць повинні встановлюватися виходячи з необхідності забезпечення можливості їх складання і з урахуванням наявності технічних засобів для їх транспортування;
- складальним операціям повинні передувати підготовчі і пригоночні роботи, пов'язані з різанням металу, які відокремлюються в операції і повинні робитися на спеціальному робочому місці або в механічному цеху на верстатах;
- виріб слід розбивати так, щоб конструктивні умови дозволили здійснювати складання найбільшої кількості складальних одиниць незалежно однієї від одної і без втрат для експлуатаційних характеристик машин, що забезпечує кращу ремонтпридатність.

Рекомендації до послідовності складання виробу полягають в наступному [5], рис. 1.12:

1) за кресленнями виробу і специфікаціям, що додаються до них, необхідно виявити усі складові складальні одиниці і деталі, що окремо входять в нього; виділення того або іншого з'єднання в складальну одиницю має бути можливим і доцільним як в конструктивному, так і в технологічному відношенні;

2) загальну складання виробу і складання будь-якої складальної одиниці слід розпочинати з установки на складальному стенді основної базової деталі; у ряді випадків базовою деталлю може бути менш складна складальна одиниця, що входить до складу виробу і раніше заздалегідь зібрана;

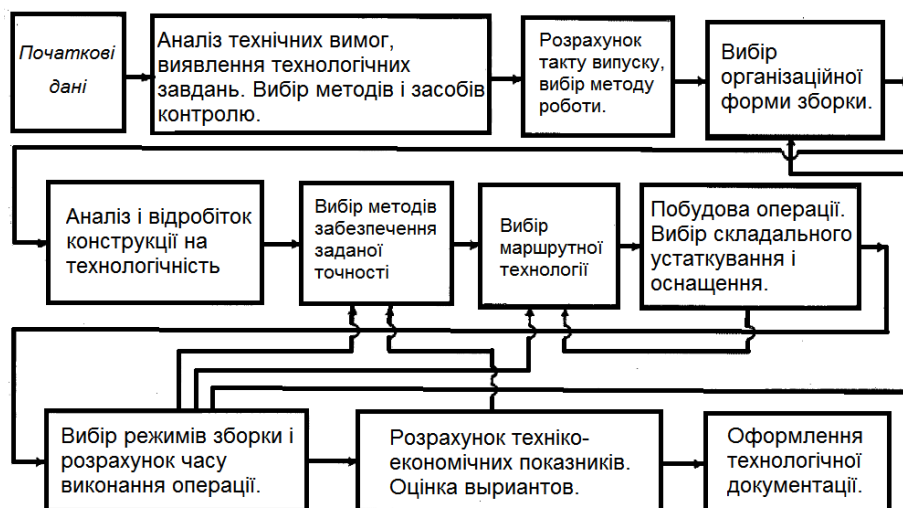


Рис. 1.12. Послідовність проектування технологічного процесу складання за А.М. Дальським [75]

3) в першу чергу необхідно монтувати складальні одиниці і деталі, що виконують найбільш відповідальні функції в роботі; вони не повинні заважати установці подальших деталей і складальних одиниць;

4) за наявності у виробі паралельно пов'язаних розмірних ланцюгів складання слід розпочинати з установки тих складальних одиниць і деталей, розміри або відносні повороти поверхонь яких є загальними ланками і належать декільком розмірним ланцюгам.

Розробляючи порядок і зміст складальних операцій, необхідно перевірити наступне [5]: чи не можна цю операцію поєднати з однією або декількома іншими; чи можлива раціональніша послідовність операцій, чи не можна цю технологічну операцію поєднати з контрольною; чи не можна спростити складну операцію, виділивши частину її в самостійну операцію; чи слідує цю операцію, що вимагає пригонювальних робіт, виконувати в складальному цеху або краще її перенести в оброблювальний цех і цим скоротити витрати на складання.

При складанні виникає необхідність систематично перевіряти якість збираного виробу і його складальних одиниць. Це необхідно робити всякий раз, коли необхідну точність в тих або інших розмірних і кінематичних ланцюгах досягають регулюванням і особливо пригоном. Необхідність перевірки

відповідності зібраних складальних одиниць їх службовому призначенню часто виникає і у випадках, коли для досягнення необхідної їх якості використовуються методи взаємозамінюваності, оскільки при складанні виникає ряд погрешностей, пов'язаних з впливом пружних деформацій, зміною баз і так далі.

Прийняту послідовність складання, зазвичай, формують у вигляді технологічної схеми, що є основою для проектування технологічного процесу. Схему складають в декількох варіантах, що відрізняються структурою і послідовністю виконання операцій. Число варіантів тим більше, чим складніше збираний виріб. При виборі оптимального варіанту (рис. 1.12) прагнуть до зменшення кількості робітників, трудомісткості (T_i) і собівартості (C) складальних процесів (1.12)

$$\begin{cases} T_{i\text{вир}} = \sum_{j=1}^{N_i} t_j, \rightarrow \min, \\ C = T_o l_{\text{озб}} + \sum_{i=1}^p T_i l_{\text{м}} + \sum_{i=1}^m \tau_i S_{\text{н}} + \sum_{i=1}^k t_i \cdot l + 100S \frac{(K_a + K_{\text{э}})}{N} \rightarrow \min, \end{cases} \quad (1.2)$$

де: $\sum_{i=1}^m \tau_{\text{м}}$ - час роботи складального обладнання при складанні виробу; T_o , $T_{\text{уз}}$ - відповідно трудомісткість загального і вузлового складання; l_o , $l_{\text{уз}}$, $l_{\text{н}}$ - відповідно хвилинна заробітна плата складальників при загального і вузлового складання і наладчиків; S - вартість однієї хвилини роботи складального обладнання; $t_{\text{п.з.і}}$ - підготовчо-заклучний час, віднесений до одного виробу на одну операцію; S_o - вартість всієї складальної оснастки; K_a , $K_{\text{э}}$ - коефіцієнти амортизації та експлуатації складальної оснастки; p - кількість вузлів у виробі; m - кількість одиниць складального обладнання; k - кількість складальних операцій, що переналагоджують при складанні виробу і його вузлів.

Це завдання за різних обмежуючих умов може бути вирішене лише на ЕОМ з використанням математичних або евристичних алгоритмів.

Засоби Tecnomatix для проектування технології складання дозволяють швидко створювати і оцінювати сценарії технологічних процесів для їх оптимізації, що гарантує скорочення термінів підготовки виробництва, випуску нових виробів і спрощення процесу проведення змін [76, Error: Reference source not found].

Оптимізація процесів складання Tecnomatix Assembly Planning включає широкий спектр додатків (ProcessDesigner - розробка процесів складання виробів; Process Simulate - моделювання процесів складання; Robcad - управління роботехнічними комплексами; PCBAsembly and Test - складання і контроль схем друкованих платах) по оптимізації послідовності складання; координації руху устаткування, розрахунку продуктивності і завантаження ліній; аналізу різних варіантів технологічного процесу і собівартості виробництва (рис. 1.13). В результаті створюється технологічний процес, в електронному вигляді що включає повний опис процесів виготовлення, складання, контролю і упаковки виробу.

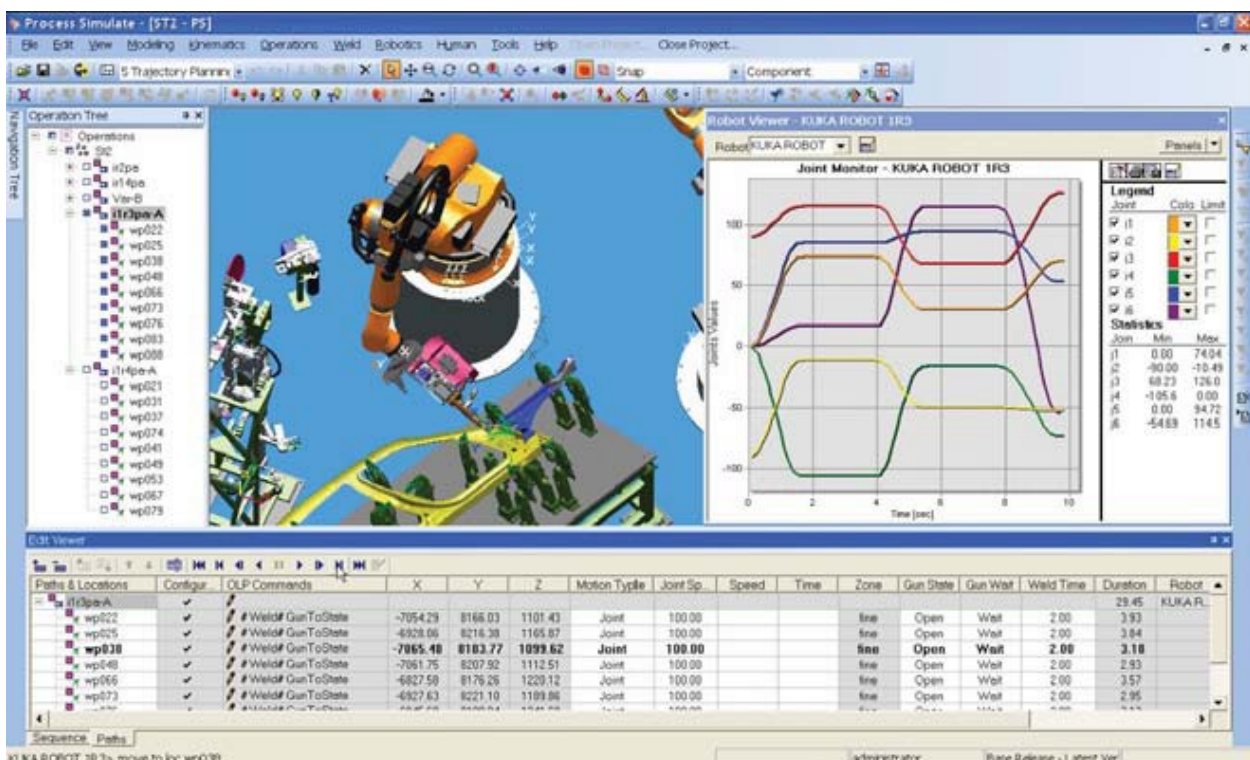


Рис. 1.13. Приклад створення і дослідження складання виробу за допомогою системи Tecnomatix Assembly Planning [76]

Для будь-якої галузі величезне значення при проектуванні виробів, технологічних процесів і робочих місць має процес організації праці. Підприємства досягають значного підвищення якості продукції, зниження собівартості, скорочення термінів випуску і поліпшення моральної обстановки в колективі за рахунок створення ергономічного, ефективного і безпечного робочого середовища.

Додаток Tecnomatix Human Performance [76] допомагає поліпшити ергономіку конструкції виробу, технологічних процесів і операцій технічного обслуговування. У його основі - точні цифрові біомеханічні манекени, яких можна поміщати у віртуальне середовище і аналізувати їх поведінку. Використання технології цифрового манекена дозволяє відтворити ситуацію і перевірити оглядовість, зони доступності предметів, зручність їх розташування, оцінити вірогідність травмування, виявити чинники, що викликають втому, а також отримати іншу важливу інформацію про ергономіку процесу виробництва і самого виробу.



Рис. 1.14. Приклад створення імітаційної моделі робочого місця складальника за допомогою системи Tecnomatix Human Performance [67]

Технологія цифрового манекена (рис. 1.14) сприяє проектуванню ефективніших і безпечних робочих місць з меншою собівартістю. За допомогою спеціальних інструментів для моделювання рухів людини і аналізу їх ергономіки цифровий манекен визначає, коли він піддається ризику отримання травми на основі аналізу пози, мускульного зусилля, ваги, що піднімається,

тривалості і частоти виконання роботи. Крім того, цифровий манекен розраховує оптимальну тривалість виконання робіт користувачем на основі системи нормування праці МТМ – 1.

Прості в обслуговуванні вироби дозволяють понизити операційні витрати, що має велике значення для авіаційно-космічної і оборонної галузей промисловості. Цифровий манекен дозволяє враховувати вимоги техобслуговування при проектуванні виробу і прораховувати найбільш ефективні процеси ремонту. Набір засобів віртуальної реальності фіксує рухи техніків, що виконують обслуговування виробу, і може служити середовищем для їх навчання.

1.4. Висновки та постановка задачі

Таким чином, об'єкт дослідження в даній науковій праці є технологічні процеси складання складних приладобудівних виробів в умовах малосерійного стаціонарного виробництва.

Предмет дослідження є організаційно - технологічна і технічна підготовка малосерійного складального виробництва складних приладобудівних виробів.

Аналіз існуючих методів малосерійного складання складних приладобудівних виробів і вимог що до них довів, що підвищення ефективності організаційно-технологічної підготовки складання СМВ в умовах малосерійного виробництва є актуальною ціллю машинобудівного виробництва.

Для досягнення цієї мети треба сформулювати і вирішити наступні завдання:

Виходячи із складності розробки ефективної технології складання складних приладобудівних виробів на засадах застосування аналітичних моделей, *сформулювати завдання щодо моделювання організаційно-технічної і технологічної структур систем складання методами імітаційного 3D – моделювання в умовах малосерійного виробництва з ціллю формування ефективних технологічних процесів складання, яке включає: опис СМВ; формулювання законів функціонування СМС ВП; формулювання принципів*

розробки організаційно-технологічних структур СМС ВП; вибір критеріїв оцінки ефективності функціонування СМС ВП; опис обмежень на область дослідження.

Розробити систему 3D - моделювання функціональних характеристик СМС ВП, яка включає: опис структури 3D - моделі функціонування СМС ВП; інформаційну модель взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу складання; модель вибору системи оцінок ефективності функціонування СМС ВП; структурно-параметричну модель 3D - імітації функціональних характеристик СМС ВП.

Розробити методику оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП на основі 3D - моделювання, яка включає: методику оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП; узагальнену методику 3D - моделювання функціональних характеристик СМС ВП; приклад реалізації методики оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП.

1. Аналіз номенклатури виробів, що складаються, показав, що вироби машино-та приладобудування характеризуються великою кількістю деталей в одиниці об'єму складання, для їхнього з'єднання застосовується ручна механізована праця, а процес складання відбувається без їхнього переміщення. В них застосовується велика доля ручної праці, процес складання мало прогнозований і характеризується низкою продуктивністю праці.
2. Проблема формування ефективного технологічного процесу складання ВП пов'язана з необхідністю урахування окрім чинників, що безпосередньо впливають на технологічний процес (точність складання, жорсткість складального вузла, його температурні деформації та типи з'єднань) враховувати організаційні (форми розміщення основного і допоміжного устаткування, складів, транспортних мереж та інших засобів) і технічні (види застосованого обладнання, їхні характеристики, людський фактор) чинники.
3. Аналіз існуючих підходів до проектування технологічних процесів складання, що використовуються для систем цього типу, свідчить про те, що аналітичні детерміновані моделі формування технологічних процесів на базі

типової і групової технологій не можуть бути використані через відсутність статистичних даних для їхньої розробки в силу індивідуальності кожного із процесів. Тому найбільш ефективним є імітаційне моделювання процесу виконання технологічного процесу складання з застосуванням прийнятої організаційно-технологічної структури, яке дозволяє сформувати найбільш ефективний технологічний процес складання СМВ з урахуванням часу функціонування системи складання.

4. Аналіз області дослідження та літературних джерел за темою дослідження дозволив зробити наступні висновки: підвищення ефективності складання виробів приладобудування в умовах малосерійного виробництва є актуальною проблемою, що потребує подальшого дослідження; для її вирішення в даній роботі сформульовані цілі та задачі, вирішення яких дозволить підвищити ефективність складання приладобудівних виробів в умовах малосерійного виробництва.

2. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ І ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУР СМС ВП

2.1. Опис обмежень щодо області дослідження

Виходячи з аналізу (п.п. 1.2), найбільш складною й найменш формалізованою, з точки зору математичного опису, є стаціонарне непотокове складання з розчленуванням і без розчленування робіт, що застосовується в умовах малосерійного виробництва шляхом використання ручної праці з елементами механізації. При цьому вона, як правило, застосовується для формування складних приладобудівних виробів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Характеристика області дослідження

ТИП ВИРОБНИЦТВА	
Малосерійне	
1. Обсяг випуску виробів	
Трудомісткість складання виробу, год.	Середньомісячний випуск, шт.
Більш 2500	Більш 2500
250...2500	250...2500
25...2500	25...2500
2,5...25	2,5...25
0,25... 2,5	0,25...2,5
До 0,25	До 0,25
2. Номенклатура	
Складається з виробів, що випускаються дрібними партіями або серіями, що систематично не повторюються	
3. Організаційна форма	
Стаціонарна непотокове складання без розчленовування робіт і з розчленовуванням	

Класифікація елементів технологічної структури системи малосерійної складання складних приладобудівних виробів. Робоче місце (рис. 2.1) є первинною ланкою виробничого процесу, саме на ній відбувається взаємодія предметів і засобів проведення операції за допомогою виконавця — робітника. До складу робочого місця входить ряд технологічно значимих зон (робочі зони,

зони зберігання деталей, зони зберігання вузлів, зони проміжного зберігання агрегатів, зони зберігання пристосувань, основного й допоміжного інструменту, кріпильних деталей, вимірювального інструменту):

Робоча зона — частина простору, в межах якого здійснюються усі основні і допоміжні дії робітника. До її організації пред'являються особливі вимоги: відповідність антропометричним і біомеханічним параметрам людини, досяжності органів тіла до предметів роботи, інструменту або органів управління пристосуваннями, а також гарантії безпеки.

На робочому місці (рис. 2.1) розміщені: *основне технологічне* устаткування (складальні стапелі), *допоміжне* устаткування (транспортні засоби; складальні стенди, різні вантажопідйомні пристрої і тому подібне), *технологічне оснащення* (складальний і вимірювальний інструмент, різні пристосування і технічна документація), *організаційне оснащення* (виробничі меблі, тара, засоби сигналізації, зв'язку, освітлення, захисні і запобіжні пристрої, і засоби по охороні праці і техніці безпеки).

В даному дослідженні для моделювання роботи складальника СМВ були прийняті процеси і обладнання, параметри яких наведені у таблиці (рис. 2.2). Вони характеризуються наявністю математичних залежностей, які дозволяють розраховувати режими процесів складання з високою долею ймовірності.

Робоче місце складальника також характеризується різними зонами складального простору, в яких змінюється зручність складання виробу (рис. 2.1). Це також враховується при розробці моделі складання СМВ.

Заздалегідь приймається, що допоміжний, вимірювальний інструмент, елементи управління відповідають ергономічним вимогам, плануванням робочого місця, передбачений простір, що дозволяє робітникові без перешкод переміщатися при здійсненні ним виробничих функцій.

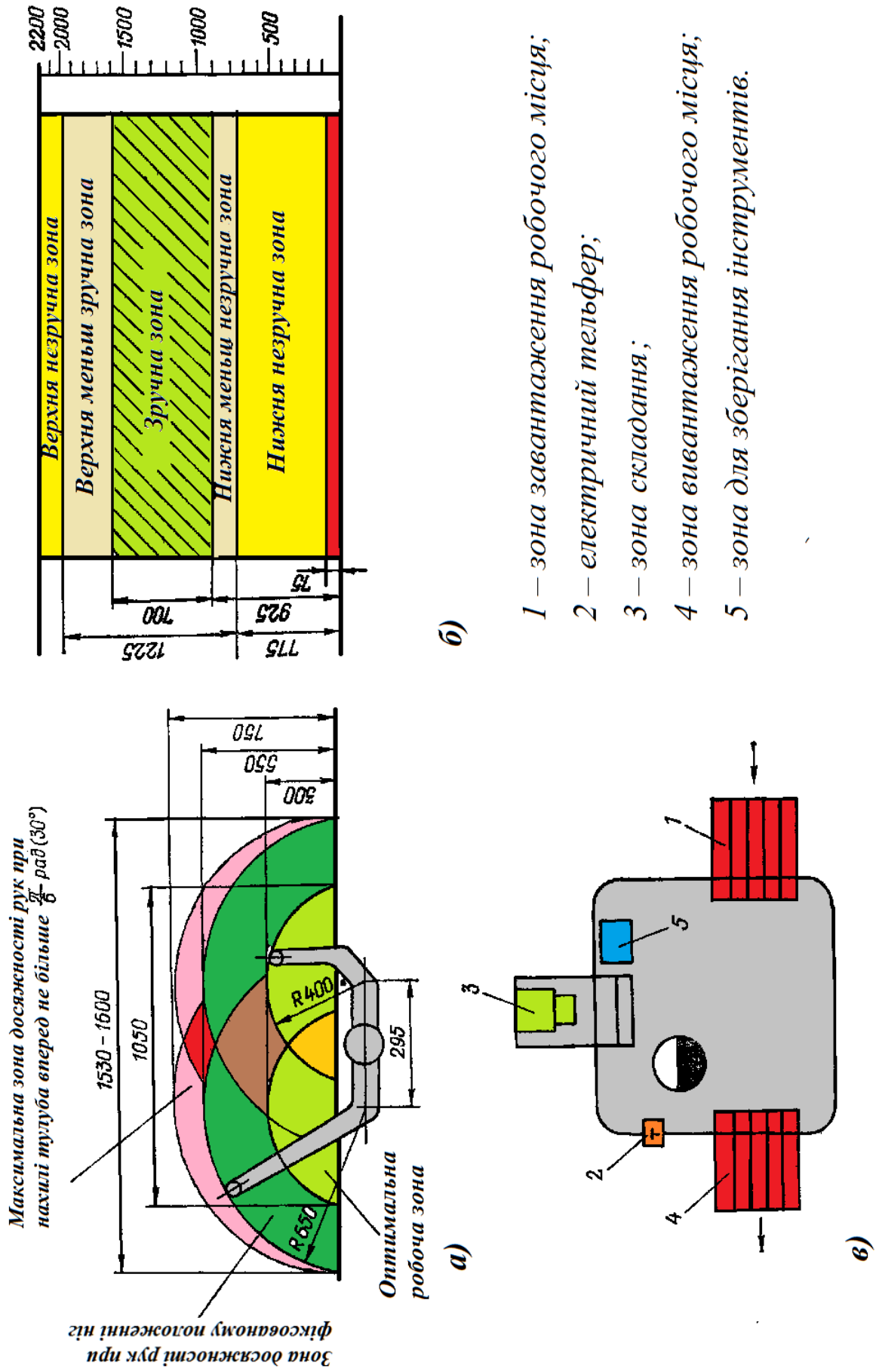


Рис. 2.1.1. Планування робочого місця складальника при вазі вузла

Обслуговування робочих місць частково децентралізовано: якщо розподіл робіт по робочих місцях, забезпечення технологічною документацією, здійснюється майстром, комплектування заготівель і матеріалів, транспортування готових деталей підсобними робітниками, те отримання інструментів і технологічного оснащення в цехових інструментально-роздавальних коморах, встановлення пристосування, операційний контроль здійснюється самими робітниками.

2.2. Принципи функціонування СМС ВП

Виходячи з того, що складаний вузол (виріб) є вхідними даними для формування системи складання, а режими функціонування СМС – похідною від організаційно-технічної структури системи складання, була сформована структурна модель функціонування СМС ВП, в якій стрілками позначено впливи одних елементів системи складання на інші, а пунктирними лініями позначені ці елементи (рис. 2.4)

Нескладний аналіз показує, що між елементами системи складання існують взаємозв'язки, що мають технологічний характер. Структурно вони можуть бути зображено як показано на рис. 2.3, а, а їхній формальний запис можна зробити за допомогою системи рівнянь на основі алгебри логіки (2.1).

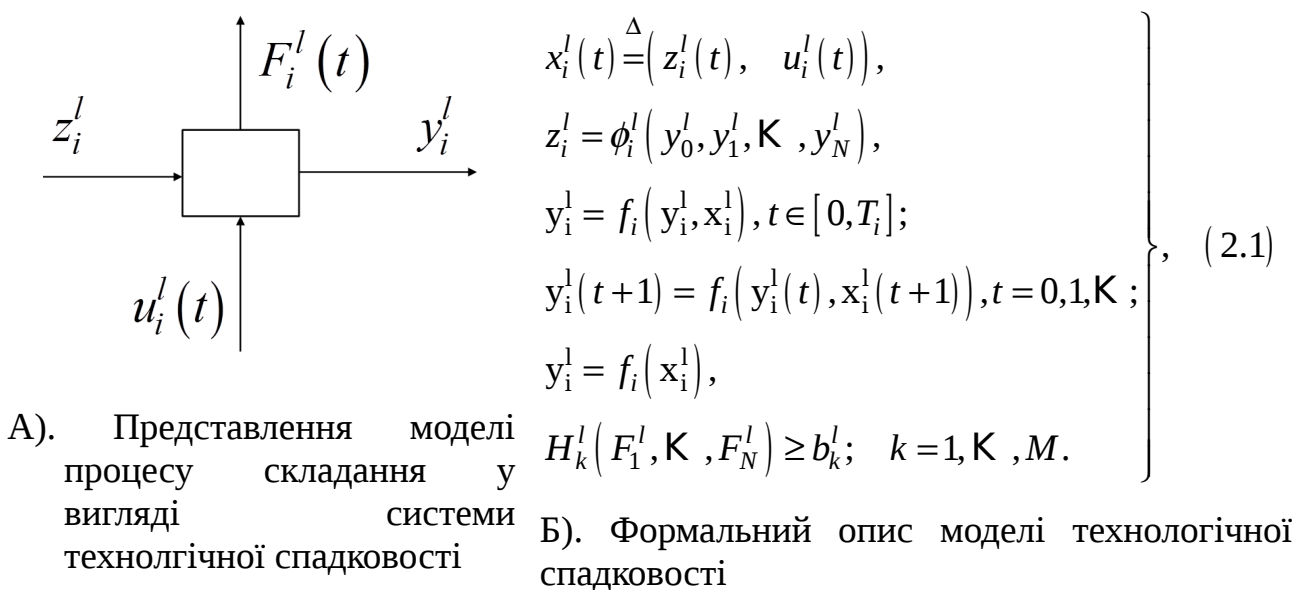


Рис. 2.3. Формальне представлення процесу складання СМС:

де $F_i^l(t)$ - вектор показників роботи технологічного устаткування, що реалізує i -у технологічну операцію на l -му шарі проектування; L - кількість шарів, що виділені в технологічному процесі; l - номер шару; t_i - час моделювання i -ої технологічної операції; $z_i^l(t)$ - вхідний вектор характеристик технологічної операції; $u_i^l(t)$ - вектор дій, що управляють станом технологічної операції; $y_i^l(t)$ - вихідний вектор характеристик технологічної операції складання; H_k^l - обмеження на загальну кількість ресурсів, наявних в системі складання.

З урахуванням рис. 2.3, 2.4 виконаємо формальне представлення взаємодій в СМС ВП. Ключовою в цьому плані є організаційна структура системи складання (рис. 2.3), структуру якої можна визначити за допомогою виразу (2.2).

$$\left[x_7 \left(x_4 \{ \delta, v, m \} \right) \bigotimes_{\min(A, N, T, C)}^{x_5, x_6} x_3 \{ x_1, x_2, x_3 \} \right] \Rightarrow x_1 \{ K \}, \quad (2.2)$$

де: $\{x_1, x_2, x_3\}$ - елементи системи складання: робоче місце складальника, система транспортування виробу, система складування виробу; x_5 - технологічна операція складання (ТОС); x_6 - технологічний процес складання (ТПС); $x_7(K)$ - партія виробів (ПВ); $x_4\{K\}$ - стани партії виробів (СПВ); $\{\delta, v, m\}$ - деталі, вузли та допоміжні матеріали, з яких складається виріб (δ , v , m), виріб (В); $\min(A, N, T, C)$ - критерії формування організаційно-технічних та технологічних рішень, що застосовуються в процесі функціонування складальної ділянки: робота з'єднання (A), потужність енергетичної установки обладнання, що витрачена на процеси складання та транспортування (N), час складання і транспортування вузла (T), приведені витрати на створення і підтримку виробничої системи в працездатному стані (C); \otimes - позначення взаємодії елементів складальної системи; \Rightarrow - позначення перетворення елементів складального процесу.

Розкриваючи вираз (2.2) що до моделі (рис. 2.4), шляхом опису характеристик, які мають характер динамічної зміни, можна констатувати, що характер цих змін добре узгоджується з математичним імітаційним моделюванням (МІМ). МІМ дозволяє розкрити функції проектування через функції опису станів, які в процесі проектування утворюють послідовність, і функції переходу від одного стану до іншого (табл. 2.6, рис. 2.6).

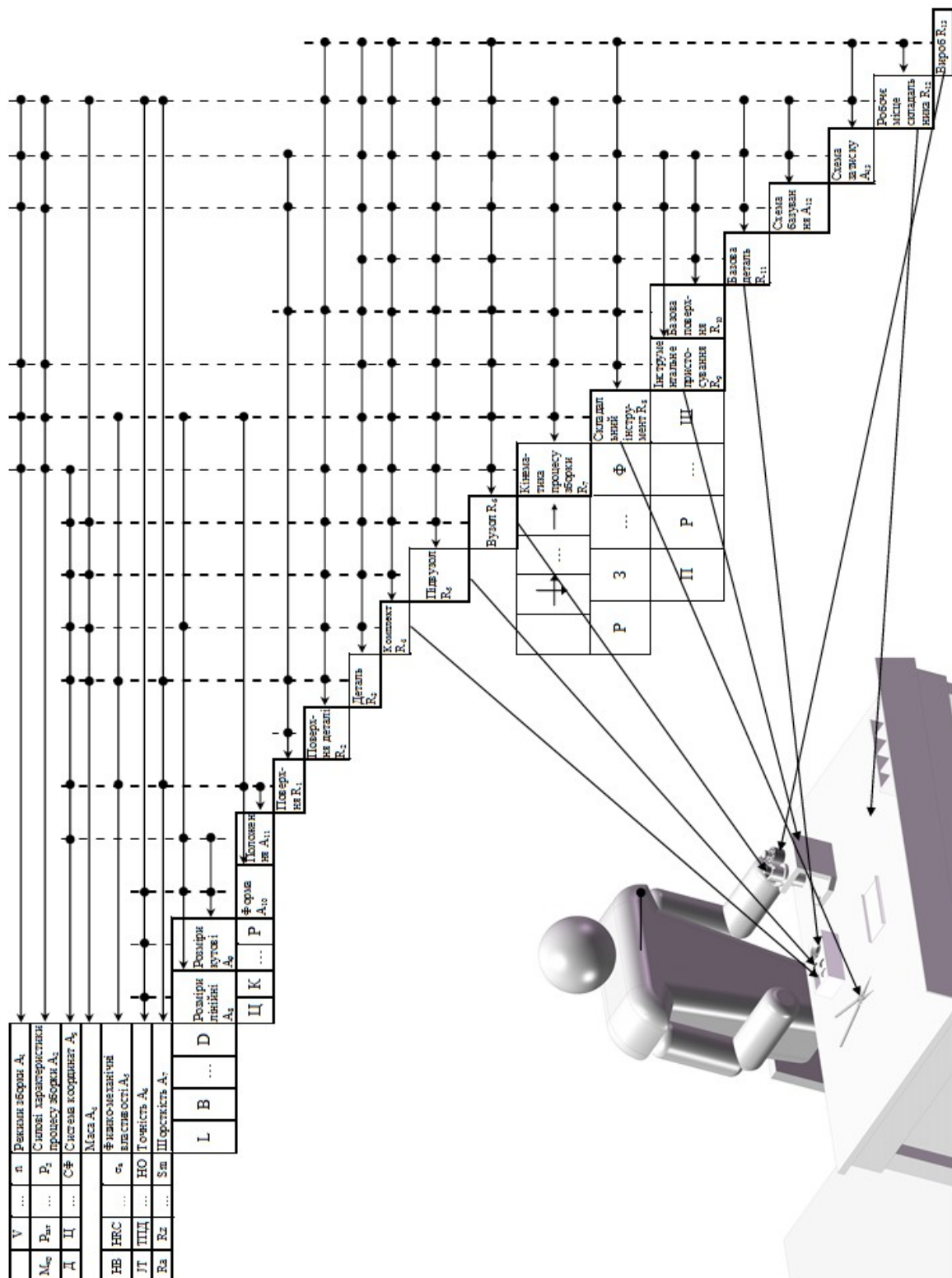


Рис. 2.4. Структурна модель функціонування СДЗ СМВ

При цьому процес складання характеризується зміною складу виробу, який підкоряється закономірностям взаємного положення деталей і їх поверхонь в тривимірному просторі. Порядок складання визначається властивостями виробу: усі деталі обмежені в переміщеннях по усіх напрямках; одні деталі закривають доступ до інших; кожна деталь орієнтована відносно іншої.

Таким чином, сформована динамічна модель дозволяє визначити простір зміни стану і основні множини, що ним характеризуються, характер зміни, тобто. закони перетворення одних станів у СДЗ в інше.

Таблиця 2.2.

Фрагмент опису укрупненої структури десигнат семантичної мережі
формування виробу складанням

Описи фактів	Структури десигнат
F1: Агентів ДЕТАЛЬ (R ₄) належить об'єкт ПРИЄДНУВАЛЬНА ПОВЕРХНЯ (D ₁)	D1: ім'я ПРИЄДНУВАЛЬНА ПОВЕРХНЯ (R ₅) D1: поверхня (R ₁) D1: система координат (A ₃) D1: фізико-механічні властивості (A ₅) D1: шорсткість (A ₅) D1: розміри лінійні (A ₈) D1: форма (A ₁₀) D1: розміри кутові (A ₉)
F2: Агент НАСТАНОВНО-ЗАТИСКНЕ ПРИСТОСУВАННЯ (R ₁₁) фіксує об'єкт ДЕТАЛЬ (D ₁) способом, що відповідає СХЕМИ БАЗУВАННЯ (D ₂) по БАЗОВИХ ПОВЕРХНЯХ (D ₃) і СХЕМИ ЗАТИСКУ (D ₄) по СУМІЖНИХ ПОВЕРХНЯХ (D ₅)	D1: ім'я ДЕТАЛЬ (R ₄) D1: система координат (A ₃) D1: маса (A ₄) D1: фізико-механічні властивості (A ₅) D1: розміри лінійні (A ₈) D2: ім'я СХЕМА БАЗУВАННЯ (A ₁₂) D3: ім'я БАЗОВА ПОВЕРХНЯ (R ₁₀) D3: поверхня (R ₁) D3: система координат (A ₃) D3: фізико-механічні властивості (A ₅) D3: шорсткість (A ₅) D3: розміри лінійні (A ₈) D3: форма (A ₁₀) D3: розміри кутові (A ₉) D4: ім'я СХЕМА ЗАТИСКУ (A ₁₃) D5: ім'я СУМІЖНА ПОВЕРХНЯ (R ₆) D5: поверхня (R ₁) D5: система координат (A ₃) D5: фізико-механічні властивості (A ₅) D5: шорсткість (A ₅) D5: розміри лінійні (A ₈) D5: форма (A ₁₀) D5: розміри кутові (A ₉)

Описи фактів	Структури десигнат
F3: Агент ЛЮДИНА (R ₁₂) фіксує/переміщує об'єкт СКЛАДАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ (D ₁) при дотриманні умови : РЕАЛІЗАЦІЯ КІНЕМАТИКИ ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ (D ₂)	D1: ім'я НАСТАНОВНО-ЗАТИСКНЕ ПРИСТОСУВАННЯ (R ₁₂) D1: схема базування (A ₁₂) D1: схема затиску (A ₁₃) D2: ім'я КІНЕМАТИКА ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ (R ₇)
F4: Агент СКЛАДАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ (R ₈) ЗБИРАЄ об'єкт КОМПЛЕКТ, ПІДВУЗОЛ, ВУЗОЛ (D ₁) способом, що відповідає КІНЕМАТИЦІ ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ (D ₂) з метою отримання ВИРОБУ (D ₃), внаслідок чого виходить КОМПЛЕКТ, ПІДВУЗОЛ, ВУЗОЛ, ВИРІБ (D ₄)	D1: ім'я БАЗОВА ДЕТАЛЬ (R ₅) D1: поверхня (R ₁) D1: система координат (A ₃) D1: фізико-механічні властивості (A ₅) D1: шорсткість (A ₅) D1: розміри лінійні (A ₈) D1: форма (A ₁₀) D1: розміри кутові (A ₉) D2: ім'я КІНЕМАТИКА ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ (R ₇) D3: ім'я ПОВЕРХНЯ ДЕТАЛІ (R ₂) D3: поверхня (R ₁) D3: система координат (A ₃) D3: фізико-механічні властивості (A ₅) D3: шорсткість (A ₅) D3: розміри лінійні (A ₈) D3: форма (A ₁₀) D3: розміри кутові (A ₉) D4: ім'я КОМПЛЕКТ, ПІДВУЗОЛ, ВУЗОЛ, ВИРІБ (R ₁₃) D4: поверхня (R ₁) D4: система координат (A ₃) D4: фізико-механічні властивості (A ₅) D4: шорсткість (A ₅) D4: розміри лінійні (A ₈) D4: форма (A ₁₀) D4: розміри кутові (A ₉)
F5: Агент ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ПРИСТОСУВАННЯ (R ₉) фіксує об'єкт СКЛАДАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ (D ₁)	D1: ім'я СКЛАДАНИЙ ІНСТРУМЕНТ (R ₈) D1: максимальні режими обробки (A ₁) D1: максимальні силові характеристики процесу обробки (A ₂) D1: фізико-механічні властивості (A ₅) D1: лінійні розміри - габарити (A ₈) D1: форма (A ₁₀)
F6: Агент ЛЮДИНА (R ₁₂) фіксує/переміщує об'єкт ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ПРИСТОСУВАННЯ (D ₁) при дотриманні умови : РЕАЛІЗУЄТЬСЯ КІНЕМАТИКА ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ (D ₂)	D1: ім'я ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ПРИСТОСУВАННЯ (R ₉) D2: ім'я КІНЕМАТИКА ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ (R ₇)
F7: Агентів ДЕТАЛЬ, КОМПЛЕКТ, ПІДВУЗОЛ, ВУЗОЛ (R ₄) належить об'єкт БАЗОВА ПОВЕРХНЯ (D ₁)	D1: ім'я БАЗОВА ПОВЕРХНЯ (R ₁₀) D1: поверхня (R ₁) D1: система координат (A ₃) D1: фізико-механічні властивості (A ₅) D1: шорсткість (A ₅) D1: розміри лінійні (A ₈) D1: форма (A ₁₀) D1: розміри кутові (A ₉)

Описи фактів	Структури десигнат
F8: Агентів ДЕТАЛЬ (R ₃) належить об'єкт ПОВЕРХНЯ ДЕТАЛІ (D1)	D1: ім'я ПОВЕРХНЯ ДЕТАЛІ (R ₂) D1: поверхня (R ₁) D1: система координат (A ₃) D1: фізико-механічні властивості (A ₅) D1: шорсткість (A ₅) D1: розміри лінійні (A ₈) D1: форма (A ₁₀) D1: розміри кутові (A ₉)
F9: Агент КОМПЛЕКТ, ПІДВУЗОЛ, ВУЗОЛ (R ₄) еквівалентний об'єкту ПІДВУЗОЛ, ВУЗОЛ, ВИРІБ (D1)	D1: ім'я ДЕТАЛЬ (R ₃) D1: система координат (A ₃) D1: маса (A ₄) D1: фізико-механічні властивості (A ₅) D1: розміри лінійні (A ₈)
F10: Агентів ВУЗОЛ (R ₄) належить об'єкт ДЕТАЛЬ (D1)	D1: ім'я ДЕТАЛЬ(ПІДВУЗОЛ) (R ₁₃) D1: поверхня (R ₁) D1: система координат (A ₃) D1: фізико-механічні властивості (A ₅) D1: шорсткість (A ₅) D1: розміри лінійні (A ₈) D1: форма (A ₁₀) D1: розміри кутові (A ₉)
F11: Агент ЛЮДИНА (R ₁₂) закінчила СКЛАДАННЯ якщо D1	D1: F9: Агент КОМПЛЕКТ, ПІДВУЗОЛ, ВУЗОЛ (R ₄) еквівалентний об'єкту ВИРІБ (R ₃)

У загальному випадку, динамічна модель оцінює завдання проектування в головному, а саме, динамічна модель дозволяє визначити основну властивість, що характеризує процес складання. Крім того, через цю властивість виражається поняття «зміни», тобто, може бути виражена зміна будь-якого об'єкту процесу складання.

Для забезпечення функціонування семантичної мережі (рис. 2.4) необхідно, щоб відношення R_i змінювало своє значення залежно від виду даного факту F_j . Кожен факт, у свою чергу, має попередню історію (набір фактів, що передують його появі) і формує умови для появи нових фактів в мережі. Отже, він не може мати певного значення, а описує лише умови формування результату (числового значення параметра) при певних значеннях вхідних даних (агента, способу, умов, мети і так далі).

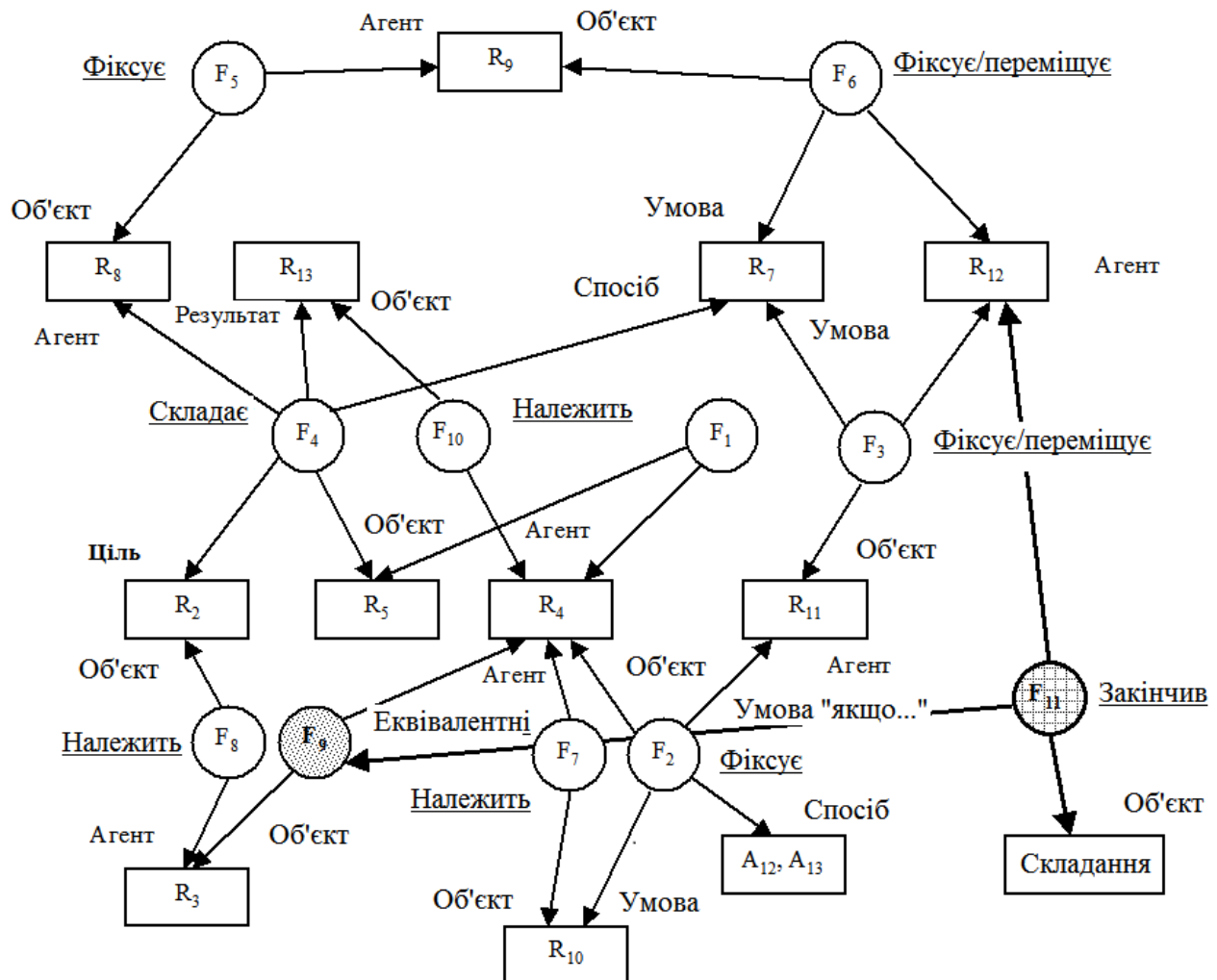


Рис. 2.5. Семантична мережа зв'язку функціональних характеристик СМС ВП із її станами

Таким чином, ми прийшли до необхідності використання в даній семантичній мережі такого поняття, як *десигнат* — унікальне внутрішньосистемне ім'я, яке ставиться у відповідність деякому об'єкту предметної області, якщо про нього в даний момент немає повної інформації. Десигнат відбиває найбільш значимий сенс об'єкту, зокрема просто факт його існування.

Таким чином, у момент першої згадки про об'єкт у базі даних активізується його десигнат, яким можна маніпулювати, не чекаючи повної інформації про об'єкт. Тоді семантичну мережу (рис. 2.4) можна представити у вигляді набору десигнат, що описують екстенціональні і інтенціональні знання про процес формування складального виробу (табл. 2.4).

Переміщення процесу формування фактів по семантичній мережі (рис. 2.4) здійснюється на основі початкових запитів про стан вузла і деталей, які в нього встановлюються. «Запит» є набором фактів (ситуацію), при описі яких допускається використання змінних в позиціях значень атрибутів і імен стосунків. Запит можна представити у вигляді графа, в якому вершини, що відповідають деяким змінним, не визначені. Пошук відповіді на запит полягає в рішенні задачі ізоморфного викладення графа запиту (чи його підграфа) в семантичну мережу.

Для формування графів запитів використано поняття «Фрейма» — формалізований описи якого-небудь об'єкту або явища, що має ту властивість, що видалення з цього опису будь-якої його частини призводить до втрати властивостей, що характеризують об'єкт опису. Найчастіше фрейм визначають як структуру даних для представлення стереотипних ситуацій.

Таким чином, фрейм — семантичний блок або модуль моделі представлення знань. Модель представлення знань будується у вигляді мережі фреймів, які складаються з двох частин : набору фреймів, що утворюють бібліотеку внутрішнього представлення знань і механізму їх перетворення і зв'язування.

Важливою особливістю фреймів є наявність в інформаційних і процедурних елементах незаповнених частин — *слотів* (порожнеч, щілин) еквівалентних десигнатам в семантичних мережах. Слоти можуть заповнюватися в процесі активізації фрейма відповідно до певних умов. Це надає властивість адаптивності моделі представлення знань, як на модульному рівні, так і на рівні усієї мережі фреймів.

Таким чином, фрейми є декларативно-процедурними структурами, тобто, сукупність описів і (в деяких випадках) пов'язаних з ними процедур, доступ до яких виконується прямо з фрейма

$$\{n, (v_1, g_1, p_1), (v_2, g_2, p_2), \dots, (v_k, g_k, p_k)\}, \quad (2.3)$$

де: p — ім'я фрейма; v_j — ім'я слота; g_i — значення слота; p_j — процедура.

Досягнення функціонально активної системи складання є цільовою поточною функцією системи моделювання роботи технологічного комплексу.

Таким чином, набір типових складових практично будь-якої складальної операції редукується на множину елементарних комплексів. Наприклад:

ЗАВАНТАЖЕННЯ - переміщення, установка, закріплення об'єкту складання. Виконується технічною системою - «робітник - деталь - допоміжний інструмент-пристосування».

СКЛАДАННЯ - взаємні основні і допоміжні переміщення інструменту і базових і кріпильних поверхонь об'єкту складання.

ПЕРЕМІЩЕННЯ - зміна координат деталі в системі робочого місця з координат місця зберігання на координати зони встановлення.

УСТАНОВКА - сполучення настановних поверхонь об'єкту складання між собою або з базовими поверхнями пристосування.

ЗАКРІПЛЕННЯ - фіксація деталі або вузла відносно іншої деталі або складального вузла.

ЗНЯТТЯ - роз'єднання настановних поверхонь складального вузла і базових поверхонь пристосування.

ОРІЄНТУВАННЯ - поворот у напрямі зони зберігання.

ПЕРЕХІД ДО ЗОНИ ЗБЕРІГАННЯ - зміна поточних координат системи складання на координати оперативної зони, яка включає місце зберігання.

РУХ ДО ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ ДЛЯ ЗАХОПЛЕННЯ - протягнути руку до поверхні деталі під захоплення.

Таким чином, основні функції і методи активізації об'єктів складальної операцій, стосовно рішення конкретної технологічної задачі, можуть мати наступну структуру (таб. 2.7).

Внутрішня логіка функціональної взаємодії об'єктів СДЗ підказує, що її базові елементи можуть, зі свого боку, вимагати від інших об'єктів виробничої системи наявності деякого мінімуму близьких їм властивостей. При цьому описи елементів виробничого процесу мають бути більше універсальними,

оскільки усі вони, в цілому, відповідають за можливість реалізації зміни стану робочого середовища.

Таблиця 2.3.

Приклад функціональних властивостей складального інструменту

Інструмент	Функція	Етапи активізації
Ключ гайковий	Кріплення або регулювання обертанням	Зберігання - нульовий етап
		Захоплення - початковий етап
		Переміщення - проміжний етап
		Орієнтування - попередній етап
		Установка - остаточний етап
	Регулювання постукуванням	Зберігання - нульовий етап
		Захоплення - початковий етап
		Переміщення - проміжний етап
		Орієнтування - остаточний етап

2.3. Принципи розробки організаційно-технологічних структур СМС ВП

Технологічний процес складання містить дії з установки і утворення з'єднань деталей, складальних одиниць у виріб. При цьому враховується доцільна техніко-економічна послідовність отримання виробу (рис. 2.6).

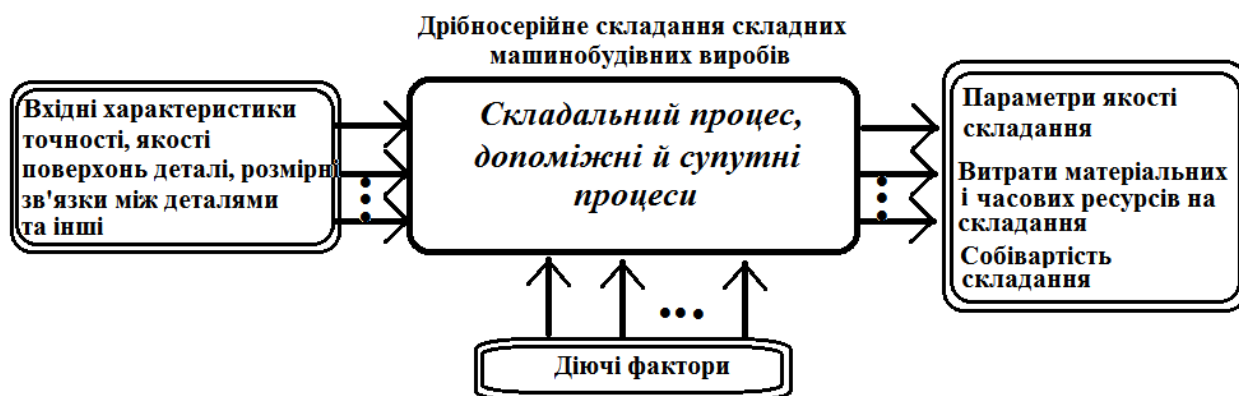


Рис. 2.6. Інформаційна схема технологічної операції складання виробу

Якість складальної одиниці характеризується точністю відносного руху або розташування деталей в складальній одиниці, силовим замиканням, натягом в нерухомих з'єднаннях, проміжком в рухливих з'єднаннях, якістю прилягання поверхонь і іншими.

Під складальною операцією розуміється процес безпосереднього формування складальної одиниці [5]. Він, як правило, включає орієнтацію, з'єднання, регулювання і закріплення (фіксацію) деталей і складальних одиниць. Складання з'єднань умовно можна розділити на складання з натягом і без натягу.

Складання з натягом здійснюється або методом пластичної деформації, або тепловим методом. У свою чергу, тепловий метод реалізується за допомогою нагріву деталі, що охоплює, або охолодженням охоплюваної деталі.

Основними вихідними показниками процесу складання є: точність відносного положення або руху зібраних деталей; точність значень натягу в нерухомих з'єднаннях і проміжку в рухливих з'єднаннях.

Таблиця 2.4.

Послідовність етапів складання виробу і способи досягнення
результатів на них

Етап	Перелік дій
Організаційна форма складання	Сформувати базові структурні одиниці виробу.
Склад складальних одиниць	Сформувати складальні одиниці з елементів виробу, що відповідають вимогам: можливість незалежного складання; винесення максимального об'єму складальних робіт із загального складання на вузлову; окреме виділення з'єднань, що вимагають спеціального устаткування; визначеність базування усіх елементів складальної одиниці; відсутність елементів, що закривають доступ елементам з інших складальних одиниць; можливість забезпечення точності заданим способом.
Спосіб забезпечення точності	Побудувати схему базування. Виявити і розрахувати розмірні ланцюги. Виявити деталі-компенсатори і визначити умови їх постачання.
Порядок утворення виробу.	Побудувати можливий порядок установки деталей. Побудувати порядок з'єднань. Побудувати порядок складальних одиниць. Побудувати порядок складальних операцій по видах

Етап	Перелік дій
	Побудувати порядок переходів по виконанню складальних робіт.
Склад операції.	Визначити межі етапу послідовності утворення виробу, що виконується в окремій операції. Визначити технологічні засоби, необхідні для виконання робіт на даному етапі. Визначити або розрахувати параметри (розмірні або функціональні), які необхідно забезпечити на цьому етапі.

2.4. Критерії оцінки ефективності функціонування СМС ВП

В умовах загального серійного складання на собівартість складання продукції (С, 2.7) впливає працемісткість виробу $\left(\sum_{i=1}^R T_i N_i \right)$ та сумарний

допоміжний час, пов'язаний з підготовкою складального процесу $\left(\sum_{i=1}^R t_{n,i} k \right)$.

Тому завантаження робочих місць повинно задовольняти умовам (2.8).

$$C = T_o l_{oyz} \sum_{i=1}^p T_i l_M \sum_{i=1}^m \tau_i S_h \sum_{i=1}^k t_i l \neq 100S \frac{(K_d + K_s)}{N}, \quad (2.4)$$

$$\left(\sum_{i=1}^R T_i N_{in} \sum_{i=1}^R t_i k \right) n \Phi, \quad (2.5)$$

де: R - кількість найменувань виробів, що збираються; T_i - працемісткість загального складання i -го виробу (2.8);

$$T_{iuj} = \sum_{j=1}^{N_i} t_j, \rightarrow \min, \quad (2.6)$$

де: t_{iuj} - штучний час складання i -го виробу на j -й операції; N_i - річна програма випуску i -го виробу; $t_{n,i}$ - підготовчо-завершальний час складання i -го виробу; k - кількість партій виробів, що складаються в рік; n - кількість робочих місць; Φ_o - ефективний річний фонд часу; t_{np} - час на виконання i -го

елементу складальної операції; b, g - коефіцієнти, що визначають час на організаційне обслуговування і перерви; $T_o, T_{уз}$ - відповідно трудомісткість загальної і вузлового складання; $l_o, l_{уз}, l_n$ - відповідно хвилинна заробітна плата складальників при загальному і вузловому складанні і наладчиків; S - вартість однієї хвилини роботи складального обладнання, у.о.; $тп.з.і$ - підготовчо-заключний час, віднесений до одного виробу на одну операцію; S_o - вартість всієї складальної оснастки, у.о.; K_a, K_z - коефіцієнти амортизації та експлуатації складальної оснастки; N - річний випуск виробів, гр.; p - кількість вузлів у виробі; m - кількість одиниць складального обладнання; k - кількість складальних операцій, що переналагоджують при складанні виробу і його вузлів.

Враховуючи те, що при моделюванні робочих рухів людини прийнята поелементна система нормування складального процесу (табл. 2.3, рис. 2.3), розрахунок часу виконання складальником елементарного виконавчого руху можна розрахувати за (2.10)

$$T_{jcm} = K_i \times S^{a_1} \times P^{a_2} \times l^{a_3} \times j^{a_4} \times L^{a_5} \times D^{a_6} \times F^{a_7} \times K_{oc} \times K_k \times K_{op} \times K_y \times K_{\pi} \times K_{ст} \times K_{т}, \quad (2.7)$$

де T_j - нормативна залежність для i -го мікроелемента; K_i - значення вектору кутових коефіцієнтів; $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ - значення показників міри, кількісних чинників; K_{oc} - поправочний коефіцієнт, який враховує міру небезпеки; K_k - поправочний коефіцієнт, який враховує міру контролю; K_{op} - поправочний коефіцієнт, який враховує міру орієнтації; K_y - поправочний коефіцієнт, який враховує міру зручності роботи; K_{π} - поправочний коефіцієнт, який враховує міру щільності з'єднання; $K_{ст}$ - поправочний коефіцієнт, який враховує міру обмеженості переміщення; $K_{т}$ - поправочний коефіцієнт на тип виробництва (приймається рівним 1,0 - для масового типу виробництва; 1.1 - для великосерійного; 1.2 - для середньосерійного; 1.4 - для малосерійного типу виробництва).

Організаційні чинники теж впливають на розрахунок оптимальних параметрів системи складання вузла. Так, при обмеженні (S_{\max}), на площу ділянки ($S_{dil.}$), на якій виконується складання (2.11)

$$S_{dil.} \leq S_{\max}, \quad (2.8)$$

необхідно домагатися такої кількості паралельних потоків складальних операцій і переходів (q_1 , 2.12), при якій собівартість складання продукції (C), була би мінімально.

$$\begin{cases} q_1 = \frac{T_0 - T_c}{(T - t_n) \gamma_1}, \\ \gamma_1 = \frac{(T_{оп.нб} + t_n)}{T}, \end{cases} \quad (2.9)$$

де: $T_{оп.нб}$ - довжина найбільш тривалої операції.

При цьому потрібно розуміти, гроші і час на упорядкування процесу складання виробу теж мають свої обмеження (2.14)

$$\begin{cases} C \leq C_{\max}, \\ T_i \leq T_{\max}, \end{cases} \quad (2.10)$$

Тоді загальну систему критерії оцінки ефективності функціонування СМС ВП на різних рівнях ієрархії можна представити як (2.14)

$$\begin{cases} C = T_{о\circ\circ\circ\circ\circ} \sum_{i=1}^p T_i + M \sum_{i=1}^m \tau_i + S_n \sum_{i=1}^k t_i + 100S \frac{(K_a + K_g)}{N} \rightarrow \min, \\ T_{i\overline{u\overline{u}}} \sum_{j=1}^{N_i} t_j \rightarrow \min, \\ T_i \leq T_{\max}, \\ C \leq C_{\max}, \\ q_1 = \frac{T_0 - T_c}{(T - t_n) \gamma_1} \rightarrow \max, \\ S_{dil.} \leq S_{\max}. \end{cases} \quad (2.11)$$

2.5. Структурна модель функціонування СМС ВП

Узагальнену модель тривимірного імітаційного моделювання системи складання вузла (Σ) можна представити у вигляді опису станів її елементів (x) в різні моменти часу (t) на допустимій множині станів (X), метою якої є досягнення екстремального значення цільової функції (H) (2.15).

$$\Sigma = \{T, X, U, \Omega, Y, \Gamma, H, G\}, \quad (2.12)$$

де: T - множина моментів часу, на якій аналізується виробнича система;

X - множина станів елементів виробничої системи (робоче місце складальника, транспортна система, склад);

U - вхідні дії на робочому місці складальника (РМС), у транспортній системі (ТС), на складі (С) (команди на складання, завантаження, розвантаження та ін.);

Ω - множина допустимих вхідних дій на РМС, у ТС, на С;

Y, G - миттєві значення реакцій на РМС, у ТС, на С на допустимі вхідні дії;

G - моделі перетворення вхідних сигналів РМС, ТС, С, СС у вихідні;

H - вектор миттєвих станів системи складання (СС):

Структурно-параметрична модель 3D - імітації функціональних характеристик СМС ВП

Віртуальна технологічна система, що імітує реальну дільницю, формується як типова складальна технологічна операція (ТСТО). Час виконання типової ТСТО може бути визначений за (2.16)

$$T_{ТСТО} = f \left[D(m, \Gamma, \Phi), \text{Труд}(N_{\text{пов}}, \text{Кач}), H_{\text{исп}}(\Phi, \text{Инф}), \right. \\ \left. \text{Осн}(\text{СТ}, \text{ПР}, \text{ВИ}, \text{РИ}, \text{СИ}), \text{Орг}(\text{Трансп}, \text{Инв}, \text{ПЛ}) \right], \quad (2.13)$$

де: $D(m, \Gamma, \Phi)$ - параметри, що визначають тип деталі, її масу, габарити, форму;

$\text{Труд}(N_{\text{пов}}, \text{Кач})$ - параметри, що визначають технологічну трудомісткість складання виробу: кількість поверхонь, що сполучаються, на цій операції, якість з'єднання кожної поверхні (квалітет, шорхість); $H_{\text{исп}}(\Phi, \text{Инф})$ -

надійність реалізації ТСТО, залежна від стану виконавця за параметрами фізичної і інформаційної напруженості; $Осн(СТ,ПР,ВИ,РИ,СИ)$ - параметри, що визначають основне технологічне оснащення : робочого місця складальника, пристосування, допоміжний, складальний, вимірювальний інструменти; $Орг(Трансп,Инв,ПЛ)$ - чинники, які залежать від організації робочого місця: система підйомно-транспортного оснащення, інвентар, тип планування.

З цих позицій, конкретна ТСТО є системою, що управляє елементарним складальним процесом. Тривалість її дії залежить від часу, необхідного для виконання операції.

Таким чином, склад чинників, що впливають на час виконання операції підбирається виходячи з (2.17)

$$T_{ТСТО} \rightarrow \min. \quad (2.14)$$

Інформація про склад чинників ТСТО, що успішно відпрацювала розміщують у базі знань. Для здійснення управління будь-яким складальним процесом динамічно формується структура з елементарних систем, які уявляють собою робочі групи дій. Виконавчі групи дій використовують інформацію зі своєї локальної бази даних про ознаки і властивості руху, про рівень і порядок взаємодії ТСТО (рук з інструментами, деталей, вузлів і пристосування і таке інше). В процесі роботи локальна база знань і даних доповнюється просторовими характеристиками і властивостями об'єкту дії із загальної бази даних і знань. Ці системи є елементарними алгоритмами управління технологічними комплексами (наприклад, рис. 2.13).

2.6. Логіко-лінгвістична модель взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу складання

2.6.1. Модель взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу складання

Логіко-лінгвістична модель процесу проектування складання дає, зрештою, опис затверджень технології в математичній формі за допомогою логічних функцій, що виражають технологічні взаємодії через класи стосунків. Розглянемо властивості конструкції виробу, необхідні для вирішення завдань автоматизації конструювання і проектування процесів складання.

Враховуючи роботи [1, 19, Error: Reference source not found], розширимо базові визначення поняття "Система складання виробів":

- вираз (2.2) формально можна представити у вигляді твердження: об'єкти a_1 і a_2 спільні, тобто допускають створення загальної системи на цьому етапі складання

$$Qt_1(a_1, a_2) | a_1 \leftrightarrow a_2, \quad (2.15)$$

де $|$ - зв'язка "тотожність", \leftrightarrow - зв'язка "еквівалентність";

- об'єкт a_1 керує процесом утворенням загальної системи з об'єктом a_2 , якщо характеристики об'єкту a_1 зумовлюють структуру і параметри об'єкту a_2

$$Qt_2(a_1, a_2) | a_1 \rightarrow a_2, \quad (2.16)$$

- об'єкт a_1 містить в собі об'єкт a_2

$$Qt_3(a_1, a_2) | a_1 \overset{v}{\rightarrow} a_2, \quad (2.17)$$

ГДж $\overset{v}{\rightarrow}$ - зв'язка "містить в собі";

- об'єкт a_2 йде за об'єктом a_1

$$Qt_4(a_1, a_2) | a_1 p a_2, \quad (2.18)$$

ГДж < - зв'язка "ранжирування";

- об'єкти a_1 і a_2 тотожні в сенсі тих функцій, що вони реалізують

$$Qt_5(a_1, a_2) | a_1 = a_2, \quad (2.19)$$

- відношення, що описується предикатом Qt_i , є властивістю об'єкту a_1 — (Pt_i) якщо в двомісному предикаті Qt_i у якості аргументів використовується один і той же об'єкт

$$Pt_i(a_1) | Qt_i(a_1, a_2) \wedge 1 \leq i \leq 4. \quad (2.20)$$

Для ідентифікації процесу обробки необхідно задати початкові умови, що визначають стан системи складання Y^0 в момент часу $t=0$, а так само необхідно описати структури технологічних процесів x_t^0 , що запускаються на виконання в моменти часу $t=1-s, 2-s, \dots, 0$. Тоді розвиток процесу обробки у момент часу t можна описати декартовим множенням $Y_{t-1} \times X_{t-s} \times \dots \times X_t$, яке формується на основі відношень між предметами x_1, \dots, x_8 (табл. 2.9).

У таблиці. 2.7 на перетині рядків і стовпців вказані допустимі правила перетворення і взаємодії об'єктів і процесів, що входять в систему обробки.

Використовуючи данні таблиці 3.1 можна сформулювати наступні організаційно-технологічні твердження, що обумовлені конструктивно-технологічними властивостями складального вузла (Додаток А).

2.7. Формальний запис умов складання СМВ

Очевидно, що точність імітаційної моделі СМС ВП залежить не лише від повноти опису взаємодій в системі складання, але і від глибини опису підсистем, що імітуються (ТМ, СДЗ і СС) і процесів управління ними (технічних, технологічних і організаційних).

Сформулюємо основні правила створення організаційно-технічних і технологічних структур СМС ВП, використовуючи опис семантичної мережі

(рис. 2.7), $(2.18) \div (2.23)$, а так само базові визначення і твердження (табл. 2.9), $(2.24) \div (2.38)$. Дані твердження містяться у Додатку Б.

2.8. Модель зміни станів при моделюванні роботи системи складання виробу

У імітаційному моделюванні поняття "регламентація" включає: "просування" часу, або коригування тимчасової координати стану системи, і забезпечення узгодженості різних об'єктів і подій в системі [Error: Reference source not found]. Оскільки дії, що виконуються різними об'єктами, залежать від дій і станів інших елементів, вони мають бути скоординовані в часі, або синхронізовані.

Таким чином, функціонування моделі повинне протікати в штучному часі, забезпечуючи появу подій в належному порядку і з належними тимчасовими інтервалами між ними.

По методу фіксованого часового кроку відлік системного часу ведеться через заздалегідь визначені часові інтервали постійної довжини (моделювання протікає в звичайному часі з фіксованим кроком).

При моделюванні роботи систем складання виробів в умовах малосерійного виробництва вибрана модель опитування стану моделі із заданим кроком Δt . Це рішення обґрунтовується наступними чинниками:

виходячи з кількості компонентів системи складання, здатних генерувати істотні події можна сказати, що існує багаторівневе моделювання : верхній рівень - транспортна система і система управління ділянки (цехи), середній рівень - транспортні системи управління окремих модулів, нижній рівень - транспортна система, система складання і управління окремих верстатів;

ввесь час коливається кількість подій на одиничному інтервалі часу, породжувана кожним елементом СДЗ;

середня тривалість подій не має строгого математичного опису, оскільки вона залежить від цілого ряду випадкових чинників (моментів запуску окремих

СДЗ, виконуваних операцій, порядку роботи і обслуговування транспортними модулями елементів СДЗ та ін.).

Досвід розрахунків характеристик СДЗ показує, що усі часові параметри (тривалість складання, транспортування, контролю та ін.) без істотної втрати точності можна округлювати до секунд і, отже, з урахуванням нерівномірності настання подій, в якості такту опитування стану системи складання можна прийняти одну секунду.

Будь-який елемент СДЗ (стапель, складальне устаткування або оператор) є об'єктом, робота якого моделюється. Час роботи розраховується заздалегідь, в моделі переходу і триватиме до тих пір, поки не буде отримано дозвіл на переривання (п.п. 2.5, правила 1 - 19).

Кожен об'єкт має ознаки, по яких детально його описують (умови виконання правил). Ознаками місця складання служать режими складання і набір виконуваних операцій.

Спосіб, при якому об'єкти в системі моделювання переходять з одного стану в інший, описується графіком циклу роботи (діаграма Ганта) і може бути ілюстрований схемою (рис. 2.7).

Згідно зі схемою (рис. 2.7), стан системі складання в цілому характеризується станами складальної, транспортної і складської підсистем. Перехід від однієї підсистеми до іншої регламентується маршрутною технологією складання. Ця послідовність формується монітором імітаційного моделювання, який формує напрямок і послідовність опиту станів підсистем.

СХЕМА ЗМІНИ СТАНІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЗБОРКИ ВИРОБІВ

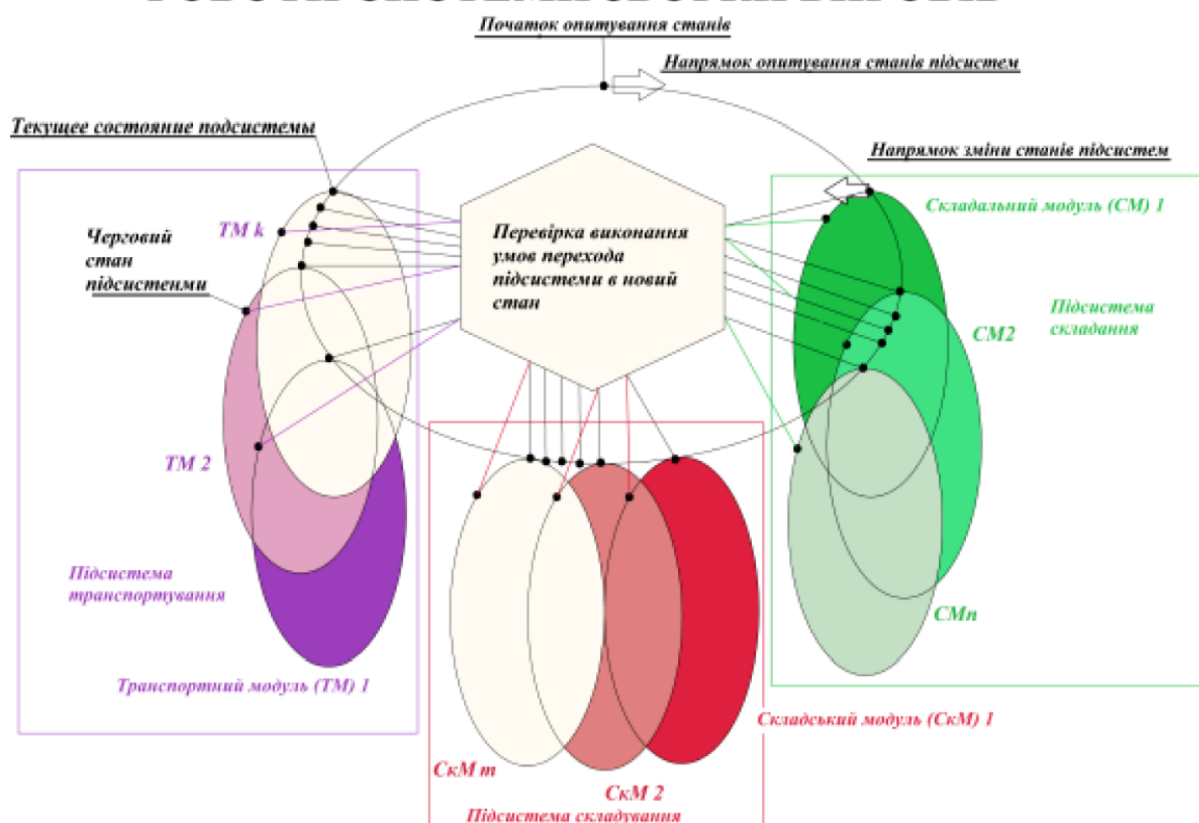


Рис. 2.7. Схема імітаційного моделювання складальних процесів приладобудівних виробів в умовах малосерійного виробництва

Кожна з підсистем функціонує за своїми правилами, що сформульовані в п.п. 2.5. Крім того, є правила, що переводять одні підсистеми в активний стан, а інші – в пасивний. При цьому, в залежності від технологічного процесу, в системі моделювання окремими підсистемами можуть виконуватись незалежні технологічні процеси, що пов'язані з паралельним виконанням незалежних переходів і операцій.

Інформаційна модель процесу проектування складання вузла (рис. 2.8) характеризується трьома етапами перетворень:

На першому етапі розглядаються будь-які впорядковані пари деталей. Розглянуті інформаційні моделі представляють завдання проектування у вигляді послідовності математичних завдань проектування інформації з вказівкою для кожного завдання початкових і отримуваних великих кількостей. Інформаційна модель дозволила розглянути порядок перетворення інформації при рішенні

завдань. Кожен етап перетворення в інформаційній моделі представлений Декартовим добутком, що означає необхідність визначення надалі умов (функцій, процедур) формування підмножин з елементів розглянутих Декартових добутків.

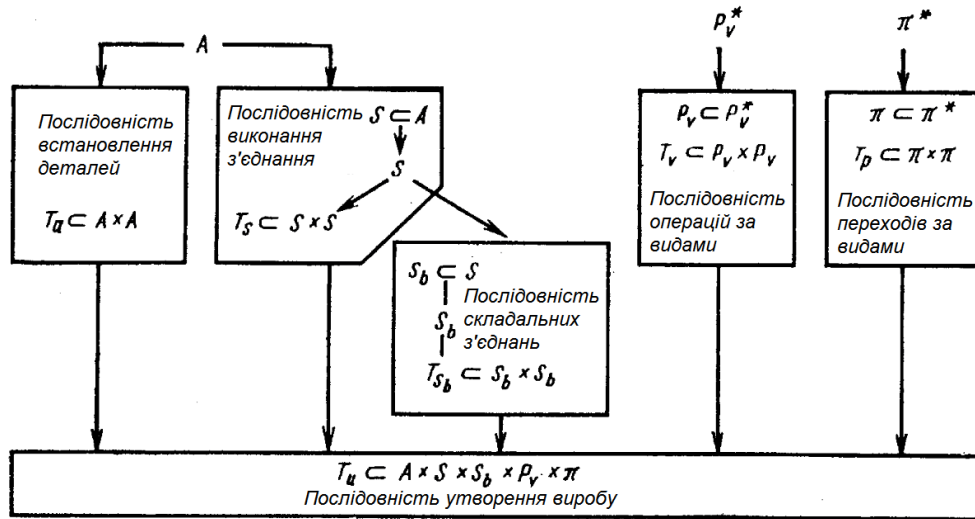


Рис. 2.8. Інформаційна модель процесу проектування складання вузла

Інформаційна модель дозволила виявити основні математичні категорії завдання (множини і існування стосунків). Таким чином, інформаційна модель стає необхідним етапом для побудови формальної схеми рішення задачі, що поставлена.

Завдання узгодження алгоритмів роботи окремих складальних ділянок з урахуванням часових співвідношень, що характеризують їх реалізацію в системі складання, в моделі вирішена за допомогою введення проміжних станів устаткування, тривалість переходів, між якими існує одна і та ж величина відрізка часу для усіх елементів системи складання.

Для узгодження системного часу з реальним в моделі СМС ВП введені проміжні стани, що є прохідними і розраховуються через однакові проміжки часу.

На наш погляд, найбільш раціональним є вибір моделі СМС з фіксованим кроком опиту станів моделі ($\Delta t = 1c$). Досвід розрахунків характеристик СМС показує, що усі часові параметри (тривалість складання, транспортування,

налагоджування устаткування та ін.) без істотної втрати точності можна округлювати до секунд.

Висновки по розділу 2

1. Виходячи з цілей та задач дослідження сформульовані область дослідження та обмеження на розробку моделей функціонування СМС ВП.
2. Сформульовані основні принципи функціонування СМС ВП, що в подальшому дозволить формалізувати принципи її дії.
3. Запропоновані нові принципи проектування організаційно-технологічної структури СМС ВП, пов'язані із застосуванням багаторівневого підходу до моделювання процесу складання на засадах логіко-лінгвістичного опису моделі її елементів.
4. Обґрунтована і розроблена система багаторівневої оцінки ефективності роботи СМС ВП, що базується на її функціональній структурі і дозволяє знайти оптимальне технологічне рішення для часової організаційно-технологічної структури СДЗ на рівнях перехід, операція, маршрут складання.
5. Сформульовані вимоги до структурної моделі СДЗ. Визначена її структура і зв'язки між елементами системи складання.
6. Визначені структура 3D – моделі і принципи управління нею в процесі функціонування.
7. Сформульовані засади мови моделювання роботи складальної дільниці.
8. Сформульовані логіко-лінгвістичні правила формування часових структур СМС ВП, розроблено механізм їхнього використання при імітаційному моделюванні виробничого процесу складання.

3. МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ МАЛОСЕРІЙНОГО СКЛАДАННЯ ПРИЛАДОБУДІВНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

3.1. Загальна методика оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП

Для повноцінної роботи системи проектування складального процесу потрібна конструкторсько-технологічна модель виробу (КТМВ). Це завдання має рішення у вигляді представлення виробу графом, вузли якого утворюються сукупністю модулів поверхонь (МП), а ребра - модулів з'єднання (МС). Відповідною підзадачею є декомпозиція виробу на МП і МС, встановлення зв'язків між ними і безпосередньо побудова графа виробу (рис 3.1).

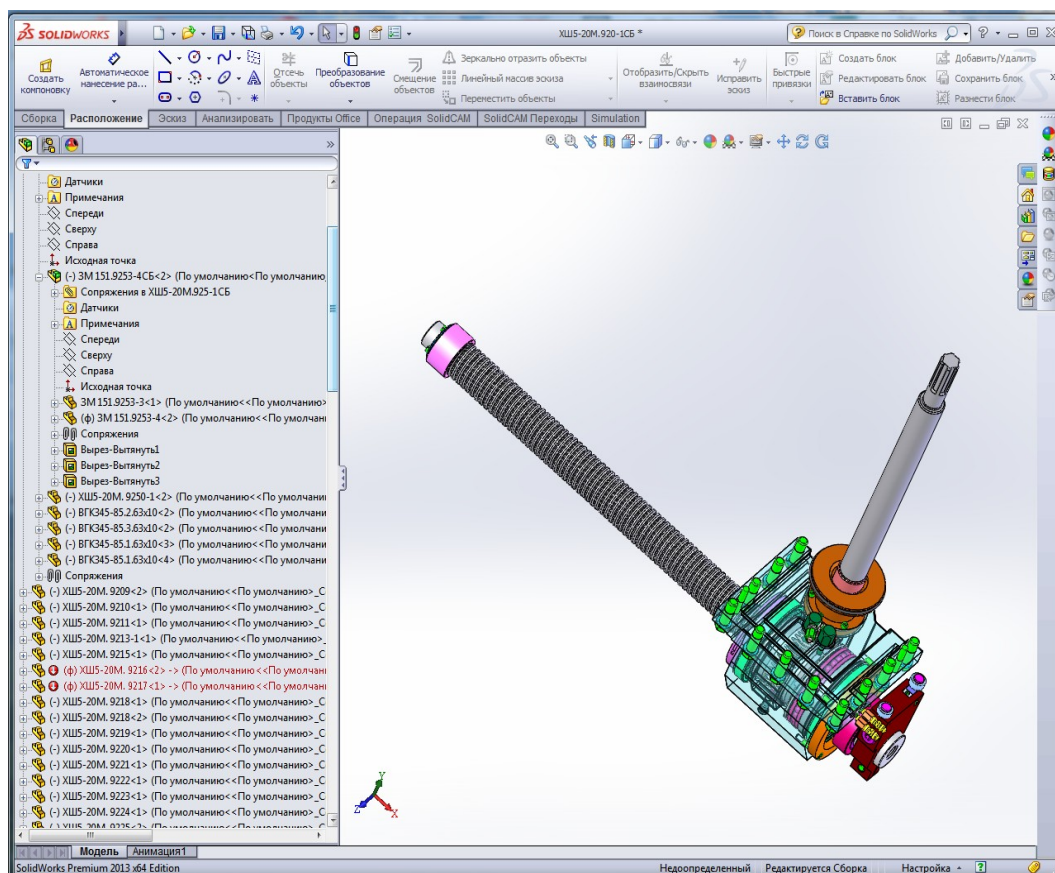


Рис. 3.1. Тривимірна модель складального виробу ХШ5-20М.920-1СБ «Механізм швидкого подвода» і його дерево побудови

Таким чином, система проектування СМС ВП матиме можливість пізнавати виріб і деталі як об'єкти, що взаємодіють, а не як абсолютно знеособлені тіла. На підставі вищевикладеного, пропонується наступний спосіб побудови САПР ТП складання (в порядку дотримання модулів, рис. 3.2).

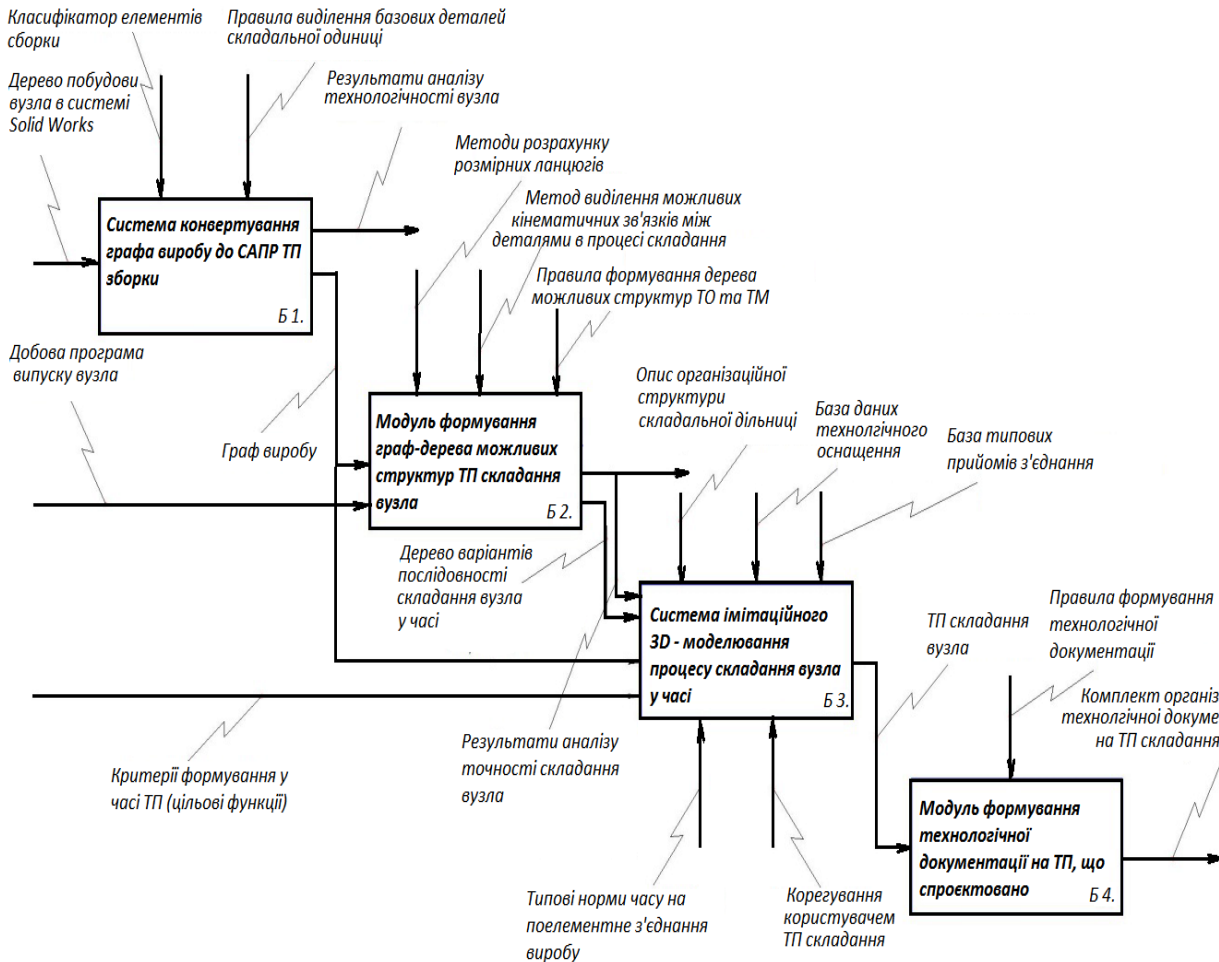


Рис. 3.2. Методика оптимізації організаційно-технологічної структури СМС ВП

Б1. Модуль отримання графа виробу (рис. 3.2). У даному модулі здійснюється автоматизована генерація графа виробу, що утворено сукупністю МПБ (МП що базують) деталей і зв'язками між ними. Виконується декомпозиція виробу на МП і виявлення МС. Вимагає алгоритму виділення і розпізнавання в деталях МП і МС. Після чого виявляють базові деталі для загальної і вузлових збірок. Для цього використовуються дані по масі, габаритам і кількості МС, які утворює деталь (рис. 3.3, 3.4).

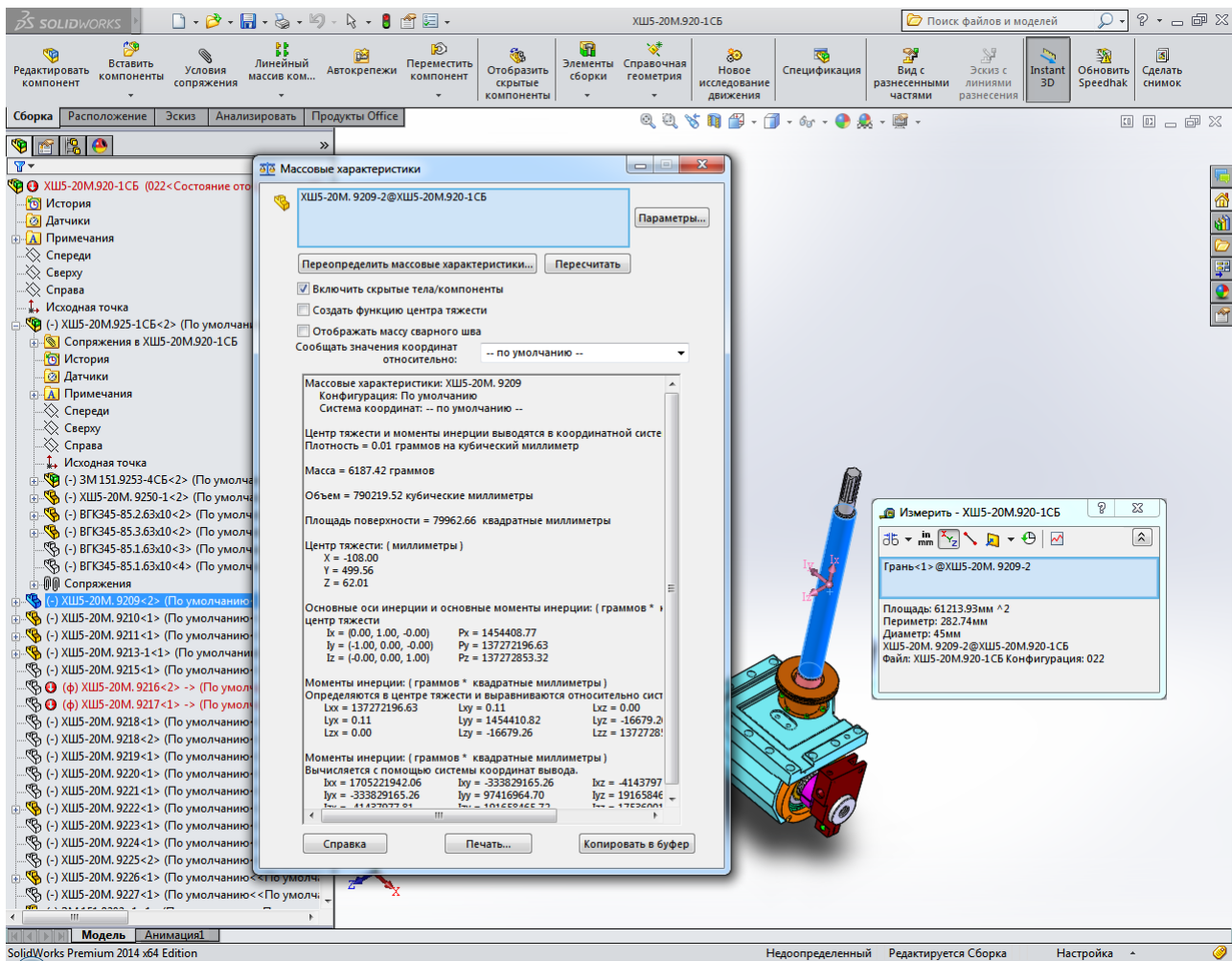


Рис. 3.3. Приклад розрахунку у САПР «SolidWorks 2014» масових і габаритних характеристик деталей та їхніх поверхонь

Б2. Конструкторсько-технологічний модуль (рис. 3.2) надає можливість конструктору виконати попередню оцінки можливості складання виробу, що спроектовано, виконати аналіз його точності і розрахувати приблизну оцінку технологічності по індексу DFA - Design For Assembly. Розраховується узагальнений коефіцієнт складання для кожної з деталей (K_{sb_i}), що входять у виріб (2)

$$K_{sb_i} = \sqrt[3]{\frac{V_i}{V_{\max}}} + \sqrt{\frac{S_{\Sigma i}}{S_{\Sigma \max}}} + \frac{n_i}{n_{\max}}, \quad (3.1)$$

де: V_{\max} – об'єм найбільшої деталі, V_i – об'єм поточної деталі, n_{\max} – максимальна кількість деталей, що приєднується до одної з деталей у вузлі, n_i – кількість деталей, що приєднується до поточної деталі, $S_{\Sigma \max}$ – максимальна сумарна

0	3M151.9253-3	0	1	17918.41	0
1	3M151.9253-4<1	0	27	1003.74	0
2	XШ5-20M.9250-1	1	0	17918.31	0
3	ВГК345-85.1.63x10	1	1	315.73	0
4	ВГК345-85.2.63x10	1	4	14967.65	0
5	ВГК345-85.3.63x10<1	1	5	14967.65	0
6	XШ5-20M.9209	1	24	5010.84	0
7	XШ5-20M.9210	1	101	13675.03	0
8	XШ5-20M.9211	1	102	6774.06	0
9	XШ5-20M.9213-1	1	105	14400.74	1
10	XШ5-20M.9215	1	106	13671.09	0
11	XШ5-20M.9216	2	2	2651914.612	0
12	XШ5-20M.9217	2	4	106768.06	0
13	XШ5-20M.9218<1	2	5	106768.06	0
14	XШ5-20M.9218<2	2	9	11026.99	0
15	XШ5-20M.9219	2	20	519.31	0
16	XШ5-20M.9220	2	21	4429.22	0
17	XШ5-20M.9221	2	22	4945.14	0
18	XШ5-20M.9222	3	3	315.73	0
19	XШ5-20M.9223	3	4	180.12	0
20	XШ5-20M.9224	4	1	18220.42	0
21	XШ5-20M.9225	4	2	11367.68	0
22	XШ5-20M.9226	4	3	180.12	0
23	XШ5-20M.9227	4	4	108301.91	0
24	3M151.9202-1	5	1	18220.42	0
25	3M151.9204-3	5	2	11367.68	0
26	3M151.9207-1	5	5	108546.15	0
27	3M151.9219-1	5	104	180.12	0
28	3M151.9246<1	6	6	790219.52	0
29	3M151.9246<2	6	18	3303.83	0
30	3M151.9248<1	6	81	436.3	0
31	3M151.9248<2	7	7	3492302.48	0
32	3M197.8826-1	7	8	4836.48	0
33	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<1	7	10	5989.94	0
34	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<2	7	13	1980.62	0
35	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<3	7	14	1980.62	0
36	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<4	7	19	2391.37	0
37	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<5	7	25	24122.72	0
38	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<6	7	26	11949.71	0
39	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<7	7	32	853.4	0
40	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<8	7	34	1602.21	1
41	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<9	7	35	1602.21	1
42	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<10	7	36	1602.21	1
43	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<11	7	37	1602.21	1
44	БОЛТ ГОСТ 7808-70 Исполнение 1<12	7	38	1602.21	1
45	Винт ГОСТ 1478-84<1	7	39	1602.21	1
46	Винт ГОСТ 1478-84<2	7	40	1602.21	1
47	Винт ГОСТ 1478-84<3	7	41	1602.21	1
48	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<1	7	42	1602.21	1
49	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<2	7	43	1602.21	1
50	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<3	7	44	1602.21	1
51	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<4	7	48	166.25	1
52	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<5	7	49	166.25	1
53	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<6	7	50	166.25	1
54	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<7	7	51	166.25	1
55	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<8	7	52	124.41	1
56	Винт ГОСТ 1491-80 Исполнение 2<9	7	57	267.04	1
57	Винт ГОСТ 11738-84 Исполнение 1<1	7	58	267.04	1
58	Винт ГОСТ 11738-84 Исполнение 1<2	7	59	267.04	1
59	Винт ГОСТ 11738-84 Исполнение 1<3	7	60	267.04	1
60	Винт ГОСТ 11738-84 Исполнение 1<4	7	61	267.04	1

площина
поверхонь
деталей, що
контактують з
однією з деталей,
 $S_{\Sigma i}$ - максимальна
сумарна площа
поверхонь
деталей, що
контактують з i -
ю деталлю.

Деталь з
найбільшим K_{sb_i}
береться за базову
для всього виробу. На
підставі вибору
базової деталі всього
виробу будується
граф виробу. Останні
деталі перевіряються
як базові для
складальних одиниць
(СО) після певних

Рис. 3.4. Фрагмент вхідних даних по складальному виробу ХШ5-20М.920-1СБ «Механізм швидкого підвода»
в графі виробу. Далі на підставі інформації про СО граф виробу доповнюється відповідною інформацією.

Формуються варіанти послідовності складання як сукупність всіх можливих варіантів ТП на підставі графа виробу. Будується, так зване, дерево варіантів послідовності збірки (ДПЗ). На верхньому рівні розташовані всі

```

Ksb := | i ← 0
      | Vi ← 0
      | Si ← 0
      | nmax ← 0
      | ni ← 0
      | Smax ← 0
      | Vmax ← 0
      | kstr ← rows(Ps)
      | for k ∈ 0, 1.. kstr - 1
      |   | if Psk,0 > i
      |   |   | i ← i + 1
      |   |   | Vi ← 0
      |   |   | Si ← 0
      |   |   | ni ← 0
      |   | Vi ← Psk,2 if Psk,0 = Psk,1
      |   | if Psk,3 = 0 ^ Psk,0 ≠ Psk,1
      |   |   | Si ← Si + Psk,2
      |   |   | ni ← ni + 1
      |   | for i ∈ 0, 1.. Pskstr-1,0
      |   |   | Vmax ← Vi if Vi > Vmax
      |   |   | Smax ← Si if Si > Smax
      |   |   | nmax ← ni if ni > nmax
      |   | for m ∈ 0, 1.. Pskstr-1,0
      |   |   | Kcm,0 ←  $\sqrt[3]{\frac{V_m}{V_{max}}}$ 
      |   |   | Kcm,1 ←  $\sqrt{\frac{S_m}{S_{max}}}$ 
      |   |   | Kcm,2 ←  $\frac{n_m}{n_{max}}$ 
      |   |   | Kcm,3 ← Kcm,0 + Kcm,1 + Kcm,2
      |   | Ksb ← Kc

```

Рис. 3.5. Програма розрахунку у системі Mathcad 15 коефіцієнту складання інших деталей (n_{max}).

деталі виробів, на нижньому - готовий виріб. Проміжні рівні відображають всі можливі варіанти стану збираного виробу (ВСВ). У процесі побудови дерева ВСВ з нього виключають варіанти на підставі наступних критеріїв : 1. якщо деталь, що входить до складу ВСВ, не утворює з іншими деталями даною ВСВ модулів з'єднання; 2. якщо ВСВ складається з однієї базової деталі; 3. неможливості продовження збірки виробу внаслідок відсутності доступу до місця монтажу деталі, що до варіанту складу ВСВ. Цей критерій виявляється на основі розрахунку зіткнення тривимірних моделей елементів вузла (рис. 3.5).

Основні гіпотези розрахунку коефіцієнта складання (K_{sb}):

1. Першою у виробі встановлюється деталь, у якої об'єм (маса) має найбільше значення (V_{max});
2. Базовою деталлю є та, у якої найбільше значення сумарної площі контакту з іншими деталями (S_{max});
3. Базовою деталлю є та, у якої найбільша кількість контактів з

Виконані наступні перетворення:

- Від розмірних параметрів оцінки коефіцієнта складання виконаний перехід до безрозмірних:

$\frac{V_m}{V_{max}}$ - співвідношення між поточним об'ємом деталі (V_m) і максимально

можливим для цієї складання (V_{max});

$\frac{S_m}{S_{max}}$ - співвідношення між поточною площею контакту базової деталі з

деталлями, що приєднуються до неї і максимально можливою для цього

складання (S_{max}), S_m -сумарна площа контакту базової m-й деталі з n_m - деталями,

що приєднуються до неї;

$\frac{n_m}{n_{max}}$ - співвідношення між поточною кількістю деталей, що сполучаються з

m-й деталлю (n_m) і максимально можливою кількістю деталей (n_{max}), що

одночасно сполучаються.

	0	1	2	3
0	0.313	0.284	0.063	0.659
1	0.045	0.609	0.219	0.873
2	0.912	1	0.188	2.1
3	0.045	0.028	0.031	0.104
4	0.314	0.356	0.094	0.764
5	0.314	0.356	0.094	0.764
6	0.609	0.126	0.063	0.798
Ksb = 7	1	0.869	1	2.869
8	0.436	0.22	0.063	0.718
9	0.448	0.266	0.219	0.932
10	0.066	0.039	0.031	0.136
11	0.091	0.11	0.063	0.263
12	0.084	0.11	0.063	0.257
13	0.148	0.07	0.063	0.281
14	0.148	0.07	0.063	0.281
15	0.182	0.116	0.125	...

Рис. 3.6. Фрагмент таблиці розрахунку коефіцієнта Ksb (3-я колонка)

- Враховуючи неоднорідність

розмірності параметрів, що входять у безрозмірні комплекси, замість

співвідношень $\frac{V_m}{V_{max}}$ та $\frac{S_m}{S_{max}}$ прийняті

наступні комплекси, що призводять до лінійної розмірності отриманих

величин:

$$\sqrt[3]{\frac{V_m}{V_{max}}} - \text{для об'ємів деталей};$$

$$\sqrt{\frac{S_m}{S_{max}}} - \text{для площ контакту поверхонь}.$$

- Тоді комплексний параметр послідовності складання можна (K_{sb})

представити у вигляді залежності (результати розрахунку представлені на рис. 3.6):

```

Por := | i ← 0
      | Pi,2 ← 0
      | Kd ← rows(Ksb)
      | Ks ← rows(Ps)
      | for k ∈ 0, 1.. Kd - 1
      |   for j ∈ 0, 1.. Ks - 1
      |     if Psj,0 = k ^ Psj,3 = 0 ^ Psj,0 = Psj,1 ^ Ksbk,3 > Pi,2
      |       | Pi,0 ← k
      |       | Pi,1 ← -1
      |       | Pi,2 ← Ksbk,3
      |       | break if Psj,0 > k
      | KsbPi,0,3 ← 0
      | i ← 1
      | Pi,2 ← 0
      | Pi,1 ← -1
      | Pi,0 ← -1
      | while i < Kd
      |   for j ∈ 0, 1.. i - 1
      |     for r ∈ 0, 1.. Ks - 1
      |       if Psr,3 = 0 ^ Psr,0 ≠ Psr,1 ^ Pi,2 < KsbPsr,1,3 ^ Psr,0 = Pj,0
      |       | Pi,0 ← Psr,1
      |       | Pi,1 ← Pj,0
      |       | Pi,2 ← KsbPsr,1,3
      |       | break if Pi,2 = 0
      | KsbPi,0,3 ← 0
      | i ← i + 1
      | Pi,2 ← 0
      | Pi,1 ← -1
      | Pi,0 ← -1
      | m ← 0
      | for i ∈ 0, 1.. rows(Ksb) - 1
      |   if Ksbi,1 = 0
      |     | j ← i
      |     | Pd0 ← j
      |     | Pd1 ← -1
      |     | Pd2 ← Ksbi,3
      |     | for k ∈ 0, 1.. rows(Ps) - 1
      |     |   if Psk,0 = j ^ Psk,0 ≠ Psk,1
      |     |     | n ← Psk,1
      |     |     | for r ∈ 0, 1.. rows(P) - 1
      |     |     |   Pd1 ← r if Pr,0 = n ^ Pd1 < r
      |     |   for m ∈ rows(P) - 1, rows(P) - 2.. Pd1 + 1
      |     |     | Pm+1,0 ← Pm,0
      |     |     | Pm+1,1 ← Pm,1
      |     |     | Pm+1,2 ← Pm,2
      |     |   PPd1+1,1 ← PPd1,0
      |     |   PPd1+1,2 ← Pd2
      |     |   PPd1+1,0 ← Pd0
      |     |   break if Pd0 = 1
      | P

```

$$Ksb = \sqrt[3]{\frac{V_m}{V_{max}}} + \sqrt{\frac{S_m}{S_{max}}} + \frac{n_m}{n_{max}}$$

4. Для кріпильних деталей критерій Ksb має вигляд:

$$Ksb = \sqrt[3]{\frac{V_m}{V_{max}}}$$

При цьому він враховується на етапі кріплення з базованих деталей. Перевірка можливості установки кріплення здійснюється кожного разу після додавання у складання нової деталі. Вибір кріплення здійснюється тоді, коли усі деталі, що сполучаються, знаходяться у складанні.

Алгоритм організації послідовності складання (Por) на основі розрахунку коефіцієнта складання Ksb (рис. 3.7, 3.9):

1. Визначаємо 0-у базову деталь виходячи з того, що значення Ksb для неї повинно бути найбільшим

Рис. 3.7. Програма розрахунку за допомогою системи Mathcad 15 послідовності складання виробу

(параметри: $P_{or,i,0}$ - номер деталі; $P_{or,i,1}$ - деталь, до якої вона приєднується;
 $P_{or,i,2}$ - значення коефіцієнту складання (K_{sb}) для цієї деталі);

2. Отримуємо 0-й етап складання.

Для пошуку деталі, що підходить для наступного етапу складання виконуємо:

3. Для всіх, вже встановлених в вузол деталей знаходимо деталі, які ще можна до них приєднати.

$P_{or} =$

	0	1	2	3
0	7	-1	2.869	0
1	8	7	0.718	1
2	62	8	0.068	2
3	61	8	0.068	2
4	60	8	0.068	2
5	59	8	0.068	2
6	58	8	0.068	2
7	57	8	0.068	2
8	101	7	0.677	1
9	1	101	0.873	2
10	5	1	0.764	3
11	2	5	2.1	4
12	9	2	0.932	5
13	33	9	0.162	6
14	4	1	0.764	3
15	0	1	0.659	...

4. Для кожної з них визначаємо коефіцієнт складання.

5. Знаходимо деталі, що базуються з максимальним значенням коефіцієнту складання. Знайдені деталі встановлюють поетапно в послідовності їхнього виявлення.

6. Після додавання в складання наступної деталі перевіряють умови кріплення деталей між собою. Якщо воно виконується, додають кріпильну деталь з $\max(K_{sb})$.

6. Етапів встановлення у вузол деталей

Рис. 3.8. Фрагмент таблиці розрахунку коефіцієнту P_{or} (2-а колонка)

стільки, скільки деталей у вузлі (включаючи кріпильні).

```

P0,3 ← 0
for k ∈ 1, 2.. rows(P) - 1
  for r ∈ k, k - 1.. 0
    if Pk,1 = Pr,0
      Pk,3 ← Pr,3 + 1
      break

```

Фрагмент таблиці з результатами розрахунку коефіцієнту P_{or} наведена на рис. 3.8.

Далі формується структура технологічного процесу складання з максимальним використанням паралельних операцій и переходів (рис. 3.9), після чого

Рис. 3.9. Фрагмент формуються варіанти послідовно-паралельних структур технологічних процесів (рис. 3.10, рис. 3.8, 3-а колонка).

В результаті роботи блоків Б1-Б3 формується граф можливого паралельно-послідовного складання виробу (приклад такої побудови представлений на рис. 3.10).

Б3. Модуль формування ТП (рис. 3.2). Формуються декілька варіантів схем вибору установки і формування ТП складання (рис. 3.11). Вибираються схеми

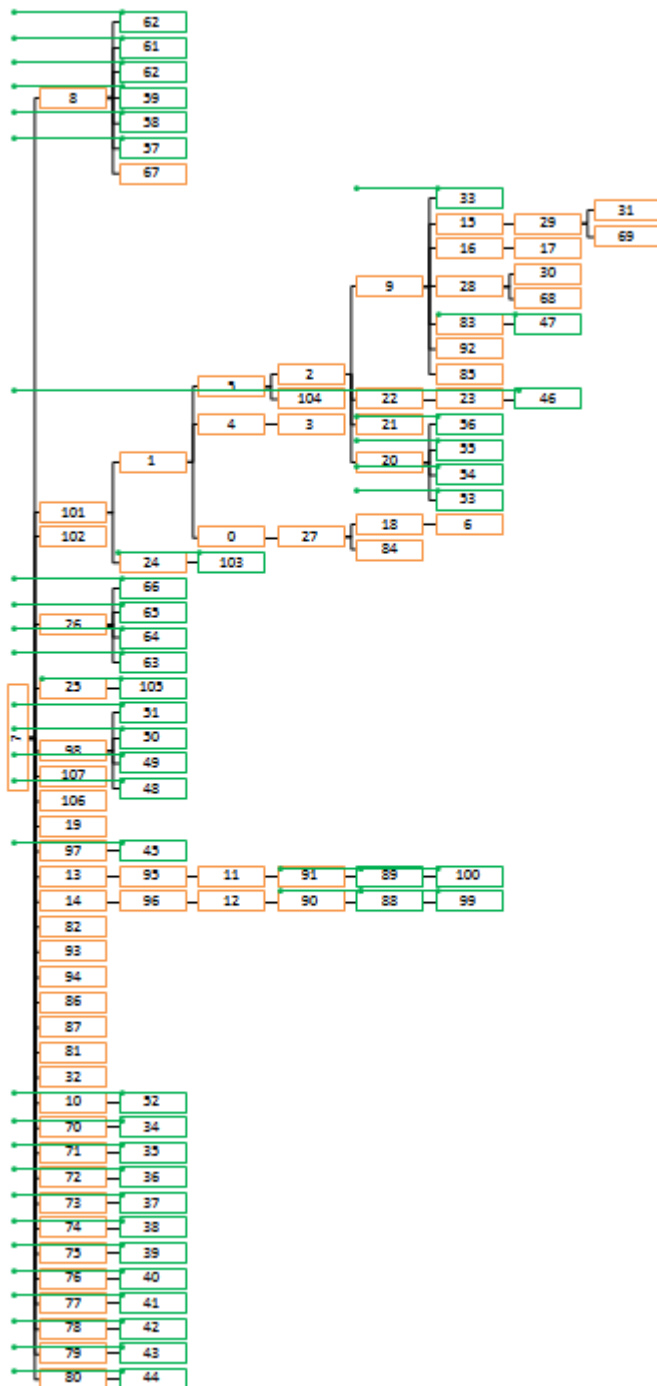


Рис. 3.10. Приклад побудови маршруту складання вузла ХШ5-20М.920-1СБ «Механізм швидкого підвода»

встановлення. Після чого вибирають і коректують варіант ТП на підставі прийнятих критеріїв ефективності збірки.

Б4. Модуль формування ТД (технологічній документації) на вибраний ТП. Відповідно до заданих правил формується технологічна документація на вибраний і відкоригований ТП складання. Проводиться остаточна візуалізація складального процесу. Візуалізація повинна зберігатися у форматі, зручному для переглядання процесу складання виробу з будь-якої точки зору в просторі і що передбачає зберігання додаткової інформації про складальний процес.

Враховуючи інформаційну, семантичну і логіко-лінгвістичну моделі процесу складання, була розроблена

узагальнена структура системи імітаційного 3D моделювання складального процесу, яка реалізується на тривимірних моделях його елементів, переходів системи з одного стану в інший. Вона є моделлю монітора який забезпечує опитування стану кожного з елементів тих, що входять в систему складання і перевіряє наявність умов переходу елементів з одного стану в інший до тих пір, поки умова складання вузла в цілому не буде виконана.

3.2. Методика 3D - моделювання функціональних характеристик СМС ВП

Імітаційне моделювання є одним із дієвих засобів перевірки конструкторсько-технологічних та організаційних рішень при синтезі структур та параметрів виробничих систем [Error: Reference source not found]. Воно дозволяє ще на етапі конструкторсько-технологічної підготовки виробництва уникнути помилок при розробці технологічних процесів механоскладального виробництва та технічних засобів їхньої реалізації.

Методика імітаційного моделювання виробничих систем складання вузлі. Для розробки імітаційної моделі виробничої системи необхідно створити технологічний процес обробки в одній з САМ – систем (наприклад, „ТехноПро 5+” представлена у Додатку В).

Висновки по розділу 3

1. Розроблено узагальнену методику проектування технологічного процесу складання приладобудівних виробів в умовах малосерійного виробництва;
2. Розроблено алгоритми і на їхній основі програмне забезпечення, що дозволяє виконати перехід від дерева побудови виробу до формування структури технологічного процесу його складання.
3. Розроблено систему імітаційного моделювання роботи виробничих систем в напрямку розвитку тривимірного моделювання складальних систем з застосуванням паралельно-послідовних процесів на всіх рівнях імітації.

4. Розроблено програмний продукт, що дозволяє виконати наскрізне проектування (від підготовки вхідних даних до дослідження різних організаційно-технологічних форм виконання процесу складання СМВ).

4. АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ СМС ВП

4.1. Аналіз існуючих організаційно-технічною і технологічною структур складального виробництва

Привід генератора (рис. 4.1) призначений для вироблення електроенергії перемінного струму стабільної частоти в бортовій мережі літального апарату. Привід являє собою агрегат, що складається із приводу постійних обертів і генератора, які мають загальну систему змащення й охолодження. Обертання приводу здійснюється від коробки приводів виробу.

Вузол має наступні вагові, геометричні та технологічні характеристики (табл. 4.1). Ці параметри є важливими для аналізу і розробки імітаційної моделі складання тому, що вибір найліпшого шляху підведення та монтажу залежить саме від ваги вузлів та головне від їх габаритних розмірів.

Складання приводу виконується на дільниці (рис. 4.2) із застосуванням ручної праці. Для складання застосовуються слюсарні верстаки із універсальними затискними пристроями.

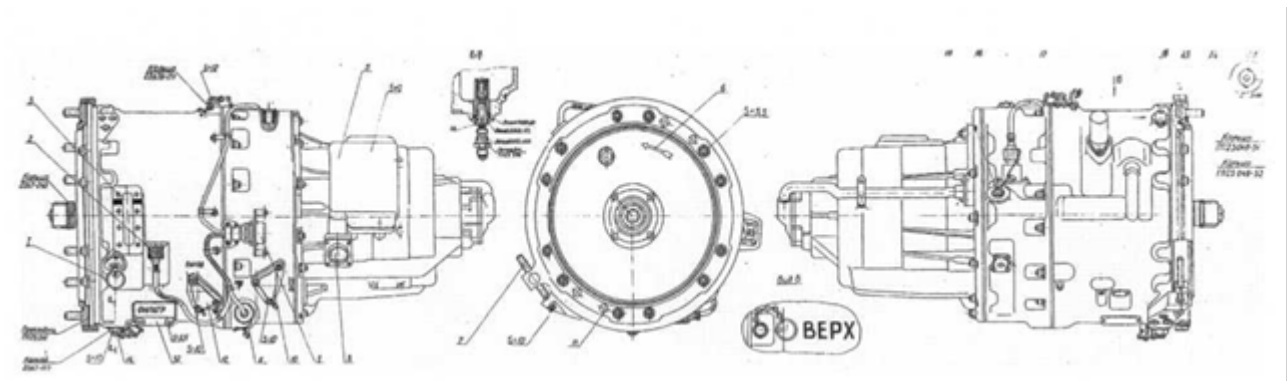


Рис. 4.1. Привід генератора ГП 23.000

Таблиця 4.1.

Вагові, геометричні та технологічні характеристики вузла ГП
23.000 «Привід генератора»

№	Характеристика приводу	Значення	Розмірність
1.	Габарити (L×D)	258×109	мм.
2.	Вага	73,250	кг
3.	Об'єм	9331,3	мм ³
4.	Загальна кількість деталей	295	шт.
5.	Кількість базових деталей	248	шт.
6.	Кількість кріпильних деталей	47	шт.
7.	Кількість складальних одиниць	15	шт.
8.	Кількість деталей на одиницю об'єму	0,0316	шт./мм ³
9.	Кількість базових деталей на одиницю об'єму	0,0266	шт./мм ³
10.	Співвідношення між кількістю базових деталей і зальною кількістю деталей	0,84	-
11.	Кількість розмірів, що контролюються при складанні	28	шт.

Для формування структури і параметрів ділянки розроблено тривимірну імітаційну модель ділянки з максимально можливою кількістю робочих місць на ній (рис. 4.2).

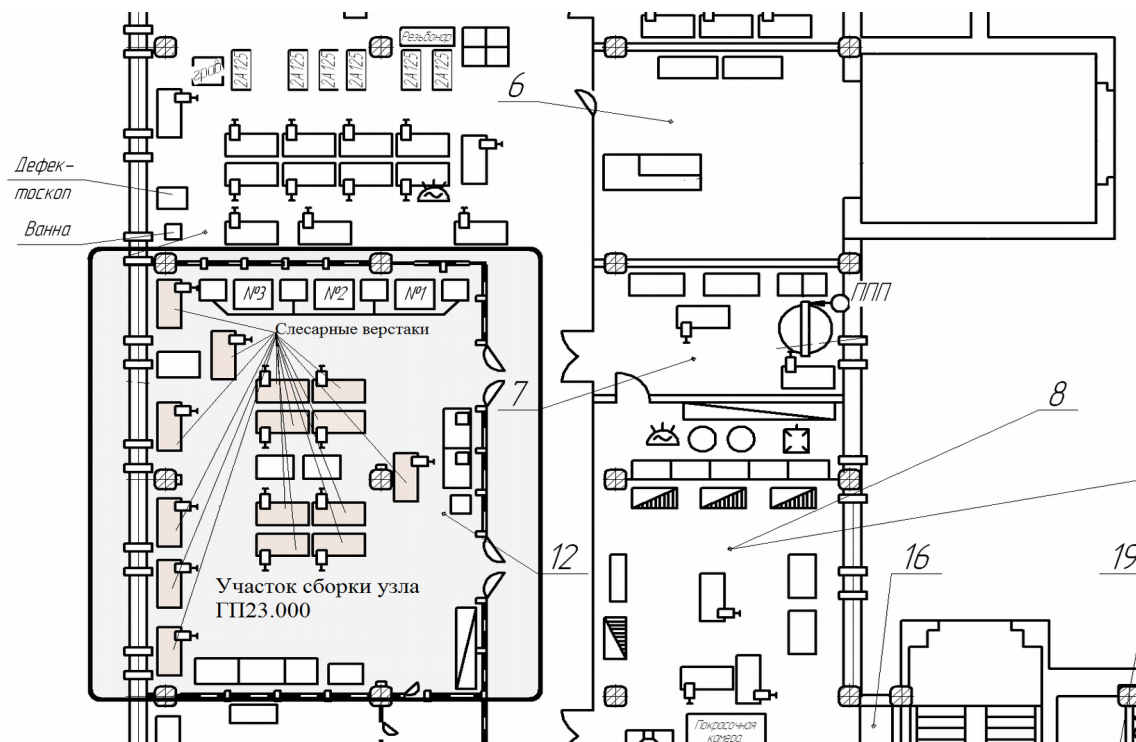


Рис. 4.2. Ділянка складання вузла "Привід генератора"

4.2. Постановка завдання підвищення ефективності системи складання вузла "Привід генератора"

У якості критеріїв формування оптимального технологічного процесу складання виробу в умовах діючого виробництва прийняті: глобальний критерій - собівартість складання партії виробів (С, ф-ла 4.1), у якості локальних критеріїв формування варіантів технологічних процесів використано сумарний час складання виробу (T_i , ф-ли 4.1, 4.2).

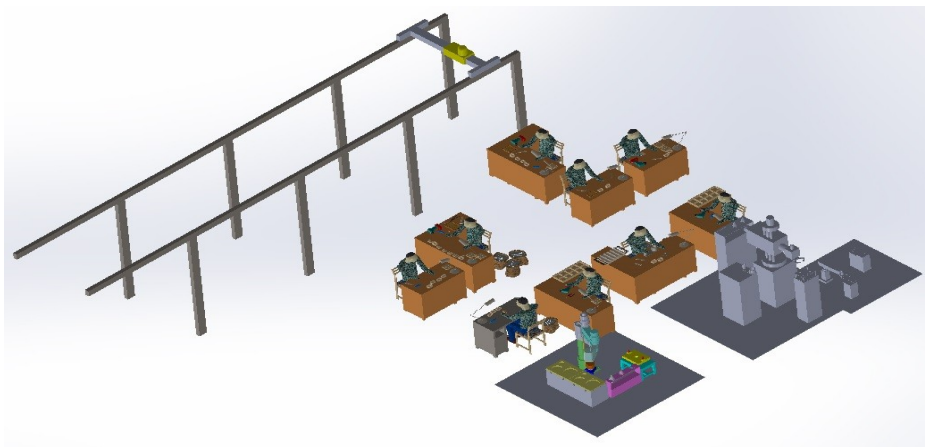


Рис. 4.3. Тривимірна модель ділянки складання вузла «Привід генератора»

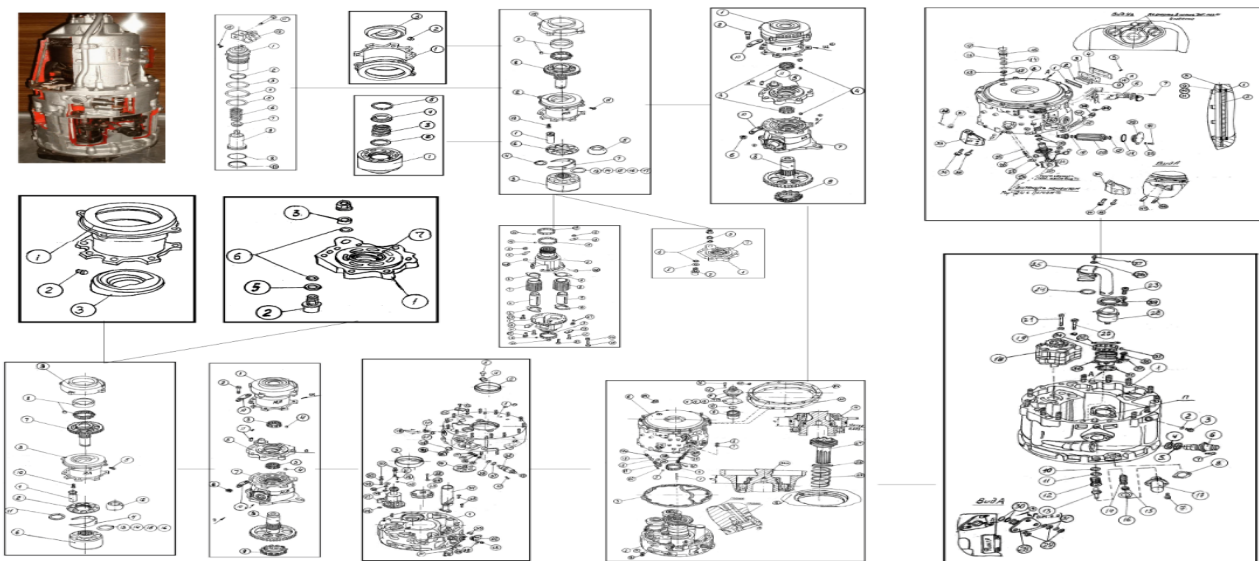


Рис. 4.4. Послідовність складання вузла ГП 23.000 "Привід генератора"

$$\begin{cases}
C = T_{\text{огр}} + \sum_{i=1}^p T_i + \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{i=1}^k t_i + 100 S_{\text{складання}} \rightarrow \min, - \begin{bmatrix} \text{Собівартість} \\ \text{партії виробів.} \end{bmatrix} \\
T_{\text{вир}} = \sum_{j=1}^{N_i} t_{\text{загальний, час складання партії виробів}}. \\
T_i \leq T_{\text{max}}, \\
C \leq C_{\text{max}}, \\
t_{\text{ш}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{прі}} \left[1 + \frac{\beta + \gamma}{100} \right], - [\text{Штучний час складання виробу.}] \\
q_1 = \frac{T_0 - T_c}{(T - t_n) \times \gamma_1} \rightarrow \min, - \begin{bmatrix} \text{Кількість робочих місць, які} \\ \text{повинен послідовно пройти} \\ \text{вироб, що збирається.} \end{bmatrix} \\
S_{\text{діль.}} \leq S_{\text{діль. max}} [\text{Площа дільниці}].
\end{cases} \quad (4.1)$$

Згідно з моделлю оптимізації (4.1), пошук оптимального варіанту технологічного процесу виконується в умовах, коли задані: максимально можливі розміри складальної дільниці (S_{max}); обмежений час на виконаннях усіх основних і підготовчих процесів при складанні вузла (T_{max}); обмежені кошти, що надаються для виконання складальних операцій (C_{max}); окремі операції (j), при складанні вузла, можуть виконуватись послідовно, паралельно або паралельно-послідовно, це обумовлено габаритами вузла, доступністю зони складання, технологічними ланцюгами, що з'єднують складальні одиниці (4.2).

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{n_{\text{оп}}} t_j, \\ t_j = \max_{k=1, m_j} (t_{j,k}) \end{array} \right\} \leq T_i \leq t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_i. \quad (4.2)$$

Приклад моделі взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу представлений у Додатку Г.

Висновки по розділу 4

1. Дослідження організаційно-технічних умов складання СМВ показали наявність високої долі ручної праці при складанні виробів, що не дозволяє прогнозувати характеристики виробничої системи.
2. В результатів моделювання на підставі методик та рекомендацій, що розроблені, виконаний реінжиніринг вальцешліфувального верстата мод. ЗА417РМ, який полягає у наступному: розроблено новий технологічний процес складання виробу; перекомпоновано ділянку складання вузлів; виконано нове нормування машинно-ручних технологічних операцій; змінені маршрути складання деяких підвузлів та агрегатів.
3. Застосування запропонованих методик, алгоритмів та програмного забезпечення скорочує трудомісткість технологічної підготовки виробництва та період освоєння нового виробу, зменшує час на конструювання складального оснащення, модернізацію та застосування нових верстатів.
4. В результатів моделювання виконаний реінжиніринг виробничої системи складання вузла «привід генератора», який полягає у наступному: розроблено новий технологічний процес складання виробу; перекомпоновано ділянку складання вузла; виконано нове нормування машинно-ручних технологічних операцій; змінені маршрути складання деяких підвузлів та агрегатів.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ В МАЛОСЕРІЙНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ»

5.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах особливості технологічної підготовки виробництва складальних процесів в малосерійному приладобудування, було запропоновано новий метод за допомогою якого підвищується ефективність операції складання. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап-проекту який має на меті визначити чи зможе наш підхід закріпитися на ринку і конкурувати з тими технологіями, які вже давно впровадженні на більшості підприємств.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Підвищення ефективності організаційно-технологічної підготовки складального виробництва складних виробів в малосерійному приладобудуванні.	1. Вдосконалена математичну модель зборки виробу в частині зв'язку між конструктивно-технологічними властивостями з'єднань .	Економія часу складання виробу і як наслідок зменшення грошових витрат на дану операцію.
	1. Складання виробів	Унікальний і зручний алгоритм складання виробів в непотоковому виробництві.
	...	

Новий підхід до складальної операції в малосерійному приладобудуванні забезпечує скорочення часу та зменшення собівартості виробу без втрати в показниках якості.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1 – Методика технологічності	Конкурент2 – Методика складання	Конкурент3 – Методика випробування			
1.	Торгівельна марка	немає	є	є	є	+		
2.	Зменшення часу складання	Висока	Середня	Середня	Середня			+
3.	Заощадження коштів	Висока	Середня	Середня	Середня			+
4.	Патенти на продукти	є	є	є	є		+	
5.	Економічність	Середня ціна	Висока ціна	Висока ціна	Середня ціна			+

Після оцінки характеристик та ідей товару можна дійти до висновку, що запропонований метод є конкурентоспроможним, тому що покращує ряд техніко-економічних характеристик.

5.2 Технічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. *Технологічна здійсненність ідеї проекту*

<i>№ n/ n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Скорочення трудомісткості технології виробництва	Технологія складання в малосерійному приладобудуванні	Наявні	Не доступні
2	Створена узагальнена математичної моделі	Технологія складання в малосерійному приладобудуванні	Наявні	Не доступні
3	Створення узагальненої інформаційної моделі	Технологія складання в малосерійному приладобудуванні	Наявні	Не доступні
4	Впровадження системи імітаційного моделювання	Технологія складання в малосерійному приладобудуванні	Наявні	Не доступні

Технологічна реалізація проекту можлива, тому що всі технології наявні на ринку, але авторам проекту вони не доступні.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ n/ n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	150 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Складність
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	70%

За попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження, том у що пропонується абсолютно нова методика, яка значно покращить приладобудівне виробництво в цілому та операцію складання зокрема.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.4 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/ n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Зменшення кількості деталей в складних за конструкцією приладів	Приладобудування, машинобудування, ракетобудування	Користування приладами за призначенням	Зручність Універсальність Економічність

Потенційними клієнтами можуть бути підприємства, пов'язані з виробництвом приладів в різноманітних галузях, які вирішують проблему заощадження коштів, вдосконалення складальної технології і скорочення робочого часу.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 5.6).

Таблиця 5.5 Фактори загроз

<i>№ n/ n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Мало ресурсів	Не можливість автоматизувати виробництво	Відмова від застосування запропонованої імітаційної моделі складання
2	Організаційний	Можливі протиріччя щодо впровадження методу на виробництві	Пропонування зміни підходу
3	Бюджетний	Замало грошових коштів для задовільної роботи методу	Залучення спонсорів
4	Науковий	Низька кваліфікація спеціалістів	Навчання і тестування працівників. Курси підвищення кваліфікації
5	Технічний	Збої в програмі у зв'язку з неправильним впровадженням і налаштуванням	Звернення з проблемою до розробника. Залучення майстрів відповідного рівня

На жаль, фактор загрози існує. Далеко не всі підприємства мають ресурс автоматизувати виробництво і запровадити новий підхід до складальної операції.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 5.6 Фактори можливостей

<i>№ n/ n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Час складання	Суттєве зменшення часу на складальну операцію	Впровадження методу у виробництво
2	Економічний	Зменшення собівартості приладу	Можливість працювати над удосконаленням

			запропонованої моделі
3	Науково-технічний прогрес	Нові тенденції розвитку в сфері приладобудування	Створення власного наукового центру
4	Ремонтопридатність	Полегшення ремонту складних виробів	Мінімізація витрат
5	Моральний	Отримання насолоди від процесу	Залучення у процес якомога більше людей зі сторони

Підприємства, які запровадять запропонований підхід до складальної операції матимуть змогу економити на часі і як наслідок на собівартості виробу. Також є можливість удосконалення моделі, її наукове дослідження і покращення існуючих результатів.

Таблиця 5.7 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Монополія	Один продавець пропонує товар, який не має близьких замінників	Виготовлення дешевих, але якісних приладів
2. Локальний	Конкуренція на міжнародному ринку	Дослідження і аналіз світового ринку
3. Міжгалузева	Використання в різних виробничих галузях	Розширення діяльності компанії
4. Товарно-родова	Конкуренція між різними видами товарів	Збільшення збуту товарів
5. Нецінова	Вдосконалення якості продукції	Висока якість, але низка ціна.
6. Не марочна	Роль торгової марки незалежна	Активна реклама методу, висвітлення всіх переваг

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, додаток А) (табл. 5.9).

Таблиця 5.8. *Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером*

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	<i>Підприємства з іншим підходом до складального виробництва</i>	<i>Складність впровадження на виробництві</i>	<i>Постачальники набору деталей для складання приладу</i>	<i>Простота у використанні і ремонт придатності</i>	<i>Якість виробів, надійність, практичність..</i>
<i>Висновки:</i>	<i>Боротьба інтенсивності.</i>	<i>Можливість виходу на ринок. Існування потенційних клієнтів.</i>	<i>Не диктують</i>	<i>Диктують. Від збуту залежати ме цінова політика</i>	<i>Не має</i>

Проаналізувавши таблицю 5.9 робимо висновок що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також ми визначили які характеристики повинен мати проект і які дії має проводити компанія щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 5.9 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Новизна	Розробка імітаційної моделі
2	Час складання	Зменшення часу на складання за рахунок удосконаленого підходу
3	Якість	Підвищення якості виробу

4	Ціна	Зменшення часу на операцію складання прямо пропорційне зменшенню собівартості виробу
---	------	--

Вихід на ринок спричинить резонанс серед підприємств. Впровадження нового методу покращить масу характеристик і стане підґрунтям для подальшого наукового дослідження.

Таблиця 5.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «...»

№ n/ n	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з КСК						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	14						+	
2	Довговічність	16						+	
3	Час складання	17					+		
3	Якість	15					+		
3	Ціна	12				+			
4	Новизна	16					+		

За рахунок нової технології, що підвищує надійність і довговічність, а також ціни, такої ж як і у конкурентів, продукт є конкурентоспроможним, і має хороші шанси для виходу на ринок.

Таблиця 5.11. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: <ul style="list-style-type: none"> - простота методу - ремонтпридатність - краща якість виробу - дешевизна - зручність у використанні 	Слабкі сторони: <ul style="list-style-type: none"> - Складність реалізації самого складального процесу
Можливості: <ul style="list-style-type: none"> - Суттєве зменшення часу на складальну операцію - Зменшення собівартості виробу - Нові тенденції в сфері приладобудування - Полегшення ремонту складних виробів - Отримання насолоди від процесу 	Загрози: <ul style="list-style-type: none"> - Не можливість автоматизувати виробництво - Можливі протиріччя щодо впровадження методу на виробництві - Замало грошових коштів для задовільної роботи методу - Низька кваліфікація спеціалістів - Збої в програмі у зв'язку з неправильним впровадженням і налаштуванням

В таблиці 5.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін проект. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми складали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 5.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ n/ n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Виготовлення виробу з однієї деталі	Достатньо висока	10 років
2	3-D друк цілісного виробу	Висока	2 роки

На основі аналізу, таблиці 13 можна зробити висновок: з зазначених альтернатив обираємо другу, оскільки для даної альтернативи ймовірність отримання ресурсів вища, а строк реалізації в п'ять разів менший.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.13 Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n/ n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Приладобудування	Готові	Високий попит	Середня	Середня
2	Машинобудування	Готові	Високий	Висока	Складно

			попит		
3	Ракетобудування	Готові	Високий попит	Середня	Складно
Які цільові групи обрано: галузь приладобудування, тому що порівняно з іншими галузями, в ній простіше реалізувати метод на практиці.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для розрахунку концентрації пилу та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.14 Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ п/ п</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Стратегія лідерства	Первинний попит. Наступальна стратегія.	Новизна	Стратегія диференціації

В таблиці 4.15 в залежності від обраного нами сегменту ринку обираємо стратегію розвитку нашого проекту на ринку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.15 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/ п</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем » на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Проект є «першопрохідцем»	Компанія буде забирати існуючих у	Так, буде копіювати основні догми	Позиціонування

		конкурентів	приладобудівног о виробництва	
--	--	-------------	----------------------------------	--

В таблиці 5.16 проводимо аналіз того як будемо поводити себе в конкурентній боротьбі і в залежності від прийнятих нами рішень обираємо стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 5.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 5.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16) розробляється стратегія позиціонування (табл. 5.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.16 Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/ n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Зручність та економічність	Позиціонування	Покращення конструкції деталі	Зручність Економічність Ремонтопридатність Новизна

В даній таблиці формуємо комплекс асоціацій за якими споживачі будуть ідентифікувати наш торгівельний проект.

Результатом виконання підрозділу є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрями роботи стартап-компанії на ринку, ключову конкурентоспроможність позиції власного стартап-проекту, вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проекту.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.17 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/ n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
-----------------------	----------------	---	---

1	Зменшення часу на виготовлення виробу	Економія коштів за таку ж якість	Покращення ремонтпридатності
---	---------------------------------------	----------------------------------	------------------------------

Головною перевагою над існуючим методом є економія часу, коштів, при такій же якості виробу.

Таблиця 5.18 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Зручність, економічність, якість виробу та ціна		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Програмний продукт	Нм	Вр
	2. Універсальність	Нм	Тх
	3. Компактність	М	Тл
	Якість: Відповідає нормам складального процесу		
III. Товар із підкріпленням	Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту		
	Марка: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» Підвищення ефективності технології підготовки виробництва складальних процесів в малосерійному приладобудуванні		
IV. Товар з гарантією	До продажу: оптові властивості, аналіз моделей		
	Після продажу: вдосконалення, зміна параметрів		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Захист інтелектуальної власності, патент на винахід.			

В таблиці 5.19 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.19 Визначення меж встановлення ціни

<i>№</i>	<i>Рівень цін</i>	<i>Рівень цін</i>	<i>Рівень доходів</i>	<i>Верхня та нижня межі</i>
----------	-------------------	-------------------	-----------------------	-----------------------------

<i>n/ n</i>	<i>на товари- замінники</i>	<i>на товари- аналоги</i>	<i>цільової групи споживачів</i>	<i>встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	25000 грн	40000 грн	Високий	20000 - 24000 грн

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буду встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 5.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.20 Формування системи збуту

<i>№ n/ n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Купівля через інтернет-сайт (електронна заявка, зв'язок по телефону)	Постачальник виконує такі основні функції: інструктаж, впровадження, подальше обслуговування.	Дворівневий канал	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту.

Було розроблено концепцію маркетингових комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряму з виробником та реалізації продукту через мережу інтернет.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.22).

Таблиця 5.21 Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/ п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуютьс я цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонуванн я</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Недовіра до нового продукту	Рекламна кампанія і інтернеті (соціальні мережі, тематичні сайти), телебачення, радіо.	SMM та радіоконтент.	Інформаційне завдання про новий метод, та повідомлення про його переваги.	«Зручність, економія і надійність – три в одному!»

Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

Висновки

Даний розділ присвячений розробленню першого етапу створення стартап-проекту. Найголовнішим в проведенні будь-якої наукової роботи є подальша комерціалізація отриманих результатів та можливість застосування розробленої концепції в промисловості. Більшість ідей в тій чи іншій мірі впливають на економічну складову підприємства. Тому розроблена ідея може бути використана як бізнес модель та може бути продана зацікавленим особам. Першим кроком було відбір та висвітлення самої ідеї проекту. Для цього в Error: Reference source not found приведено назву проекту та можливі зацікавлені сторони, котрі будуть потенційними споживачами продукту та які саме ризики можуть бути під час реалізації. Аналіз слабких та сильних сторін дають

можливість автору проекту визначити аспекти, на яких слід зробити ставку.

Перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик ідеї дає можливість до уявлення конкурентоспроможності запропонованого рішення. Для даного проекту було обрано виявлено не зайняту нішу товару в області малосерійного приладобудування. Сильними сторонами проекту являються можливість до інтеграції з іншими приладами та підвищення стійкості та надійності системи. Наступним кроком проводився технологічний аудит проекту. Під час аудиту автор отримує можливість до розуміння кращої технології виконання. Виявлено що більшість технологій вже існує, однак використання останніх не дасть можливості мати переваги над конкурентами. Саме ставка на інноваційні методи підвищення точності можуть зробити пристрій унікальним та незамінним. Загалом, створення проекту можливе, однак необхідно провести доволі сильну рекламну компанію, щоб отримати покупців.

Зважаючи на стрімкий розвиток технологій, для швидкого отримання ресурсів та прибутків, слід обрати кооперацію, як форму ринкового впровадження проекту. Тобто, для того щоб встигнути за ринком, слід не розроблювати систему з нуля, оскільки це займе доволі багато часу, а запропонувати лідерам ринку використання запропонованих програмних рішень. Звісно, це є альтернативою, оскільки в такому випадку ні одна зі сторін не отримає повного прибутку.

Після аналізу всіх аспектів ринку, подальша імплементація проекту можлива.

Але є одна важлива умова - потрібно провести серйозну рекламну компанію, та донести до споживачів необхідність використання саме нашої запропонованої системи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації виконано теоретичне узагальнення і нове розв'язання науково-технічної задачі підвищення ефективності складального виробництва приладобудівних виробів шляхом прогнозування структур та параметрів систем організаційно-технологічної і технічної підготовки виробництва на засадах 3D імітаційного моделювання.

1. На основі об'єктно-орієнтованого проектування створена узагальнена математична тривимірна модель функціональної структури системи складання, що дозволяє з високою точністю відтворити процес складання виробу.
2. Розроблено механізм імітаційного 3D-моделювання роботи системи складання на рівнях: ділянка, склад, робоче місце (операція), технологічний перехід (прийом роботи), транспортна система, що дозволяє застосувати принципи системного підходу до проектування організаційно-технологічної структури системи складання СМС в цілому.
3. Розроблено математичні моделі переходу від 3D-моделі вузла до 3D-моделі складального технологічного процесу, що використано для формування структур і параметрів технологічних переходів та операцій.
4. Створено алгоритми і імітаційні логіко-лінгвістичні моделі структурно-параметричного синтезу СМС ВП, які засновані на об'єктно-орієнтованому підході та цілеспрямованому пошуку і оцінці варіантів структур і параметрів непотокових систем малосерійного складання приладобудівних виробів.
5. Вдосконалено математичну модель збирання виробу в частині зв'язку між конструктивно-технологічними властивостями з'єднань, організаційно-технічною і технологічною структурами ділянки складання і можливими

послідовностями виконання технологічного процесу, яка представлена у вигляді множини траєкторій взаємних переміщень і позиціонування деталей, робочих, складальних і транспортних агрегатів і людини, а також накопичувачів системи складання.

6. Розроблено систему аналізу і автоматизації вибору обґрунтованої послідовності непотокової складання складного виробу на основі обліку його внутрішніх розмірних зв'язків, організаційно-технічної ситуації на складальній ділянці, технічних особливостей складального устаткування і фізіологічних особливостей складальника, що дозволило повністю автоматизувати процес формування структури і черговості виконання етапів технологічного процесу.
7. Створені види забезпечення комплексу програм імітаційного 3D-моделювання функціональної структури системи складання приладобудівних виробів, що дозволяє виконувати моделювання складальної, транспортної і накопичувальної підсистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении / Б.Е. Челищев, И.В. Боброва, А. Гонсалес-Сабатер; Под ред. акад. Н.Г. Бруевича. — М.: Машиностроение, 1987.— 264 с.
2. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. для вузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.; Под ред. Н.М. Капустина. — М.: Высш. шк., 2004.— 415с.
3. Аналитический бюллетень. Машиностроение: тенденции и прогнозы. Выпуск №3. Итоги полугодия 2011 года. — Москва: «РИА-Аналитика» / Центр экономических исследований <http://www.ria.ru/research/>. — 2011. — 47с.
4. Андрющенко В.А. Следящие системы автоматизированного сборочного оборудования. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. - 246 с.
5. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2005. - 736 с.
6. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. - М.: Изд-во стандартов, 1992. - 464 с.
7. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1982. - 367 с.
8. Біловський К.Е. Структура системи інтерактивного моделювання методів ручної і машинно-ручної праці: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. економічних наук: спец. 08.03.02. „Економіко математичне моделювання" / Біловський К.Е. Хмельницький-2003 — 18 с.
9. Бойцов В.В., Ганиханов Ш.Ф., Крысин В.Н. Сборка агрегатов самолета. М.: Машиностроение, 1988. -152 с.
10. Бондарев С.Г. Підвищення надійності складання шліцьових з'єднань шляхом вибору раціональної системи позиціювання елементів /Автореферат дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування,

Харків: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", 2005. – 14с.

11. Борисов Ю. С. Организация ремонта и технического обслуживания оборудования. М., «Машиностроение», 1978. - 360с.
12. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов. М.: Наука, 1964. — 364с.
13. Бысов С.А., Малышев Е.Н. Выявление и анализ организационно-технологических факторов, влияющих на результативность технологических систем, организованных на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов //Наука и образование. № 03, март 2012. Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408. – С.1 - 13.
14. Ванин, В.А. Проектирование технологических процессов механической обработки и сборки: учеб. пособие /В.А. Ванин, А.Н. Преображенский, В.Х. Фидаров. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. - 172 с.
15. Вартанов М.В. Обеспечение технологичности конструкции изделий при их многоуровневом преобразовании в структуру процесса автоматизированной сборки /Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по спецциям: 05.02.08 – технология машиностроения, 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям). Москва, - 2005. – 419с.
16. Вероятностное прогнозирование в деятельности человека / Под ред. И. М. Фейгенберга, Г. Е. Журавлева. — М.:, 1977 — 392 с.
17. ВЕРТИКАЛЬ. Система автоматизированного проектирования технологических процессов. Руководство пользователя: /ЗАО АСКОН — М.: «ИТАР-ТАСС», 2008 г. — 472 с.
18. Волчкевич И.Л. Оптимизация размеров партий при изготовлении деталей машин с точки зрения обеспечения потребностей сборки //Наука и

образование. № 04, апрель 2012. Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408. – С.1 - 9.

19. Волчкевич И.Л. Расчет необходимого количества оборудования при проектировании технологических комплексов в условиях многономенклатурного производства //Наука и образование. № 03, март, 2012. Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408. – С.1 - 23.
20. Воробьев К.И. Исследование и оптимизация работы сборочно-сварочных робототехнологических систем методом имитационного моделирования /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.05 – роботы, мехатроника и робототехнические системы. Москва, - 2005. – 194с.
21. Вороненко В.П. Повышение эффективности сборочных машиностроительных производств путем обеспечения гибкости технологических процессов и структур подразделений / Автореф. дис. докт. техн. наук. - М.: МГТУ "Станкин", 1997. 45 с.
22. Воскресенский Е.А., Симонов А.С. К вопросу о статистическом моделировании сборочных процессов с помощью ЭВМ // Исследования в области технологии механической обработки и сборки машин. Тула: ТПИ, 1978. - С. 110-118.
23. Воячек И.И. Обеспечение качества неподвижных соединений на основе интеграционной системы конструкторско-технологического проектирования /Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.02.08 – технология машиностроения, 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин. Пенза, - 2006. – 401с.
24. Гальцов А. Д. Нормирование и основы научной организации труда в машиностроении. / Гальцов А. Д. — М.: Машиностроение, 1974 — 630 с.
25. Гонсалес-Сабатер Антонио Синтез технологических процессов механосборочного производства на основе анализа взаимодействий

конструктивно-технологических элементов производственной среды /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Москва, - 2000. – 144с.

26. Горанский Г.К. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. / Горанский Г.К., Бендерова Э.И. — М.: Машиностроение, 1981 — 456 с.
27. Групповая технология в машиностроении и приборостроении / Под ред. канд. техн. наук С. П. Митрофанова — Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы Москва, 1960 — 377 с.
28. Гусев А.А. Технологические основы автоматизированной сборки изделий. - М.: Машиностроение, 1982. – с.
29. Дальский А.М., Кулешова З.Г. Сборка высокоточных соединений в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988. - 304с.
30. Данилевский В.В. Технология машиностроения: Учебник для маш. техникумов /5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984. - 419 с.
31. Демин Ф.И. Анализ и синтез точности изделий и технологических процессов со сложными размерными связями / Ф.И. Демин // Фундаментальные проблемы теории точности / под ред. В.П. Булатова, И.Г. Фридлендера. СПб.: Наука, 2001. - 504 с.
32. Жигалёв Н.Н. Моделирование производственных систем сборки технологических элементов замены на основе логико-динамических графов. /Диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук по спец. 05.11.14 - технология приборостроения, Российская федерация, Санкт-Петербург . – 2003. – 188с.
33. Завгородня Т.П. Моделювання процесів праці на рівні робочих місць. / Завгородня Т.П., Мазарчук А.Ю. //Вісник технологічного університету Поділля, м. Хмельницький №2 — 1998 — 76 — 80 с.

34. Замятин В.К. Технология и автоматизация сборки. М.: Машиностроение, 1993. – 464 с.
35. Захаров В.А., Саурди Н.Г. Расчет сборочных размерных цепей с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1984. - 182с.
36. Захаров М.В., Тимофеев Ю.В. Розробка технологічних процесів складання: Навч. Посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 152 с.
37. Золотухин А.И. Разработка метода расчета технологических параметров несинхронных сборочных линий и применений его при создании оборудования для сборки изделий автостроения /Диссертация на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Москва, - 2003. – 209с.
38. Золотухин А.И. Разработка метода расчета технологических параметров несинхронных сборочных линий и применений его при создании оборудования для сборки изделий автостроения /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Москва, - 1984. – 209с.
39. Зубенко П.Н. Альбом рабочих чертежей слесарно-монтажного и зажимного инструмента: Учеб. пособие для сред, проф.-техн. училищ.— М.: Высш. шк, 1984. —191с.
40. Иванов А.А. Автоматизация сборки миниатюрных и микроминиатюрных изделий. М.: Машиностроение, 1977. - 248 с.
41. Иванов Ю.В. Методы и средства проектирования технологических структур гибких автоматизированных сборочных комплексов многономенклатурного производства электронной аппаратуры /Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям). Москва, - 2003. – 486с.
42. Иващенко И.А. Технологические размерні рас четі и способі их автоматизации. – М.: Машиностроение. 1975. – 221с.

43. Игумнов Б.Н. Автоматизированные системы проектирования и нормирования труда. /Игумнов Б.Н. — Львов: Світ. 1992 — 272 с.
44. Ильина М.Е. Разработка метода управления технологическим процессом сборки ротора ГТД дискового типа на основе компьютерного моделирования /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 — технология машиностроения. Рыбинск, - 2004. — 241с.
45. Ильянков А.И., Левит М.Е. Основы сборки авиационных двигателей. М.: Машиностроение, 1987.- 288с.
46. Іщенко О.Л. Розробка технологічного і структурного забезпечення проектування високопродуктивних процесів і систем складання безперервної дії /Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 — технологія машинобудування. Донецьк - 1999. — 20с.
47. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. — СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. — 847с.
48. Кован В. М., Корсаков В. С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1965. - 489 с.
49. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1997.- 592 с.
50. Кондратюк О.Л., Скоркин А.О., Рудькова О.А. Багатомірне керування технологічними процесами у виробництві мехатронних пристроїв //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х.: 2013 р. №1/9(61), С. 72-75.
51. Коноплянченко Є.В. Підвищення надійності роботи складальних систем шляхом оптимізації часових технологічних ланцюгів / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 — технологія машино-будування. — Харків: НТУ «ХП», 2001. — 20с.

52. Конспект лекций по дисциплине «Сборка машин» для студентов дневного и заочного отделений специальности 7.090202 /Сост: Е.В. Мишура, Д.П. Шистко. – Краматорск: ДГМА, 2008. –203с.
53. Кореньков В.М. Автоматизованый синтез маршрутных технологичных процесів складання /Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Київ: Національний технічний університет України “КПІ”, 2005. – 20с.
54. Коршунов А.И. Создание автоматизированных систем управления машиностроительными производствами на основе теории конструктивно-технологической сложности /Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (машиностроение). Ижевск: ИжГТУ, - 2008. – 44с.
55. Косилов В.В. Технологические основы проектирования автоматического сборочного оборудования. М., «Машиностроение», 1976. - 248 с.
56. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход: Пер. с англ. М.: Мир, - 1981. - 398 с.
57. Кузнецов Д.О. Автоматизация обеспечения технологичности конструкций сборочных соединений в условиях применения интегрированных САПР /Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – системы автоматизации проектирования (по отраслям). Брянск, - 2003. – 20с.
58. Кузнецов М.В. Разработка системы эффективного управления поиском согласованного положения деталей для роботизированных сборочных устройств на основе нечеткой логики /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям). Ковров, - 2004. – 212с.

59. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г. М. Дискретная математика для инженеров. М.: Энергия, - 1980. - 342с.
60. Кузьмин В.В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения: Учеб. пособ. для вузов /В.В. Кузьмин, А.Г. Схиртладзе.— М.: Высш. шк., 2008. — 279 с.
61. Кузьмиченко Б.М. Методы и средства создания агрегатно модульной системы роботизированного сборочного оборудования в приборо - и машиностроении /Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. - Саратов: 1999. - 306 с.
62. Кукарин А.Б. Повышение эффективности несинхронных автоматических сборочных линий /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Киев, - 1984. – 246с.
63. Лашина Ю.В. Підвищення технологічності виробів на основі складально-орієнтованого проектування /Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», 2011. – 24с.
64. Лебедевский М.С., Вейц В.Л., Федотов А.И. Научные основы автоматической сборки. Л.: Машиностроение, 1985. - 316 с.
65. Лебедевский, М. С. Научные основы автоматической сборки /М.С. Лебедевский, В.Л. Вейц, А.И. Федотов. Л.: Машиностроение, 1985. - 316с.
66. Лучкин, В.К. Диалоговое проектирование технологических процессов в САПР ТехноПро : учеб. пособие / В.К. Лучкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 112 с. – ISBN 978-5-8265-0800-8.
67. Магдиев Р.Р. Исследование и разработка методики проектирования автоматизированной сборки электронных узлов в приборостроении

/Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.14 – технология приборостроения. Санкт-Петербург, - 2000. – 201с.

68. Мазарчук А.Ю. Моделювання процесів праці. /Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. економічних наук: спец. 08.03.02. - економіко-математичне моделювання. — Хмельницький, 1998 — 15 с.
69. Макаров Е. Инженерные расчеты в Mathcad 15: Учебный курс. — СПб.: Питер, 400с.
70. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. / Максимей И.В. – М.:Радио и связь, 1988 — 232 с.
71. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник. 2-е изд., испр. СПб.: Изд-во «Лань», 2008.— 512 с.
72. Машиностроение: Энциклопедия: в 40 т. Т. III-5. Технология сборки в машиностроении; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 2001. - 640с.
73. Методические рекомендации по расчету на ЭВМ норм времени на базе микроэлементных нормативов / под ред., С.А. Юровского, В.Х. Педро //Нормативно-производственное издание. — М.: Экономика, 1989 — 54 с.
74. Новиков В.Ю., Схиртладзе А. Г. Технология станкостроения: Учеб. пособие для техникумов по специальности «Производство станков с программным управлением и роботов». — М.: Машиностроение, 1990. — 256 с.
75. Технологические основы обеспечения качества машин /К.С. Колесников, Г.Ф. Баландин, А.М. Дальский и др.; Под общ. ред. К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.
76. Обзор Tecnomatix. Siemens PLM Software. www.siemens.com/plm.

ДОДАТОК А

Основні організаційно-технічні властивості СМС і конструктивно-технологічні властивості ВП

Використовуючи данні таблиці 3.1 можна сформулювати наступні організаційно-технологічні твердження, що обумовлені конструктивно-технологічними властивостями складального вузла.

Твердження 1. Кожен елемент СМС ВПР (x_j) має хоч би одну властивість (Pt_n):

$$\bigvee_{j=1}^J x_j \exists_{n \in I} Pt_n \left[Pt_n(x_j) \in X_{\text{СМС ВП}} \right], \quad (.1)$$

де $X_{\text{СМС ВП}}$ - множина властивостей СМС ВП; $J=8$ - кількість елементів моделі

СМС ВП; $I=5$ - кількість базових тверджень (2.18) - (2.23); $\bigvee_{j=1}^J x_j$ - предикат

загальності "для усіх x з множини J існує ..."; $\exists_{n \in I} Pt_n$ - предикат існування

"знайдеться хоч би один P з множини I , для якої існує ...".

Таблиця 1

Формальний опис зв'язків у СМС

Позначення предмета - a_1/a_2	Ім'я і позначення предмета							
	СДЗ - x_1	ТС - x_2	СС - x_3	Об'єкт складання - x_4	Технологічна операція - x_5	Технологічний процес - x_6	Партія складання - x_7	Траса переміщення ТС - x_8
x_1	$Pt_1(x_1)$ $Pt_2(x_1)$ $Pt_3(x_1)$ $Pt_5(x_1)$	$Qt_1(x_2, x_1)$	$Qt_1(x_3, x_1)$	$Qt_1(x_4, x_1)$ $Qt_2(x_4, x_1)$	$Qt_1(x_5, x_1)$ $Qt_2(x_5, x_1)$	$Qt_1(x_6, x_1)$ $Qt_2(x_6, x_1)$	$Qt_1(x_7, x_1)$ $Qt_2(x_7, x_1)$ $Qt_3(x_7, x_1)$	$Qt_1(x_8, x_1)$ $Qt_4(x_8, x_1)$
x_2	$Qt_1(x_1, x_2)$ $Qt_2(x_1, x_2)$	$Pt_1(x_2)$ $Pt_2(x_2)$ $Pt_5(x_2)$	$Qt_1(x_3, x_2)$	$Qt_1(x_4, x_2)$ $Qt_2(x_4, x_2)$	$Qt_1(x_5, x_2)$	$Qt_1(x_6, x_2)$	$Qt_1(x_7, x_2)$ $Qt_2(x_7, x_2)$ $Qt_3(x_7, x_2)$	$Qt_1(x_8, x_2)$ $Qt_4(x_8, x_2)$

Ім'я предмета - a ₁ /a ₂	Ім'я і позначення предмета							
	СДЗ - x ₁	ТС - x ₂	СС - x ₃	Об'єкт складання - x ₄	Технологічна операція - x ₅	Технологічний процес - x ₆	Партія складання - x ₇	Траса переміщення ТС - x ₈
x ₃	Qt ₁ (x ₁ , x ₃) Qt ₂ (x ₁ , x ₃)	Qt ₁ (x ₂ , x ₃)	Pt ₁ (x ₃) Pt ₂ (x ₃) Pt ₃ (x ₃) Pt ₅ (x ₃)	Qt ₁ (x ₄ , x ₃) Qt ₂ (x ₄ , x ₃)	Qt ₁ (x ₅ , x ₃)	Qt ₁ (x ₆ , x ₃) Qt ₂ (x ₆ , x ₃)	Qt ₁ (x ₇ , x ₃) Qt ₂ (x ₇ , x ₃) Qt ₃ (x ₇ , x ₃)	Qt ₁ (x ₈ , x ₃) Qt ₂ (x ₈ , x ₃) Qt ₄ (x ₈ , x ₃)
x ₄	Qt ₁ (x ₁ , x ₄) Qt ₂ (x ₁ , x ₄)	Qt ₁ (x ₂ , x ₄) Qt ₃ (x ₂ , x ₄)	Qt ₁ (x ₃ , x ₄)	Pt ₁ (x ₄) Pt ₂ (x ₄) Pt ₃ (x ₄) Pt ₅ (x ₄)	Qt ₁ (x ₅ , x ₄) Qt ₂ (x ₅ , x ₄)	Qt ₁ (x ₆ , x ₄) Qt ₂ (x ₆ , x ₄)	Qt ₁ (x ₇ , x ₄) Qt ₃ (x ₇ , x ₄)	
x ₅	Qt ₁ (x ₁ , x ₅) Qt ₃ (x ₁ , x ₅)	Qt ₁ (x ₂ , x ₅)	Qt ₁ (x ₃ , x ₅) Qt ₃ (x ₃ , x ₅)	Qt ₁ (x ₄ , x ₅) Qt ₂ (x ₄ , x ₅)	Pt ₁ (x ₅) Pt ₂ (x ₅) Pt ₃ (x ₅) Pt ₄ (x ₅) Pt ₅ (x ₅)	Qt ₁ (x ₆ , x ₅) Qt ₂ (x ₆ , x ₅) Qt ₃ (x ₆ , x ₅)	Qt ₁ (x ₇ , x ₅)	
x ₆	Qt ₁ (x ₁ , x ₆) Qt ₂ (x ₁ , x ₆)	Qt ₁ (x ₂ , x ₆)	Qt ₁ (x ₃ , x ₆)	Qt ₁ (x ₄ , x ₆) Qt ₂ (x ₄ , x ₆)	Qt ₁ (x ₅ , x ₆) Qt ₂ (x ₅ , x ₆)	Pt ₁ (x ₆) Pt ₂ (x ₆) Pt ₃ (x ₆) Pt ₄ (x ₆) Pt ₅ (x ₆)	Qt ₁ (x ₇ , x ₆) Qt ₃ (x ₇ , x ₆)	
x ₇	Qt ₁ (x ₁ , x ₇) Qt ₂ (x ₁ , x ₇) Qt ₃ (x ₁ , x ₇)	Qt ₁ (x ₂ , x ₇) Qt ₂ (x ₂ , x ₇) Qt ₃ (x ₂ , x ₇)	Qt ₁ (x ₃ , x ₇) Qt ₂ (x ₃ , x ₇)	Qt ₁ (x ₄ , x ₇) Qt ₂ (x ₄ , x ₇)	Qt ₁ (x ₅ , x ₇) Qt ₂ (x ₅ , x ₇) Qt ₃ (x ₅ , x ₇)	Qt ₁ (x ₆ , x ₇) Qt ₂ (x ₆ , x ₇)	Pt ₁ (x ₇) Pt ₂ (x ₇) Pt ₄ (x ₇) Pt ₅ (x ₇)	
x ₈	Qt ₁ (x ₁ , x ₈) Qt ₂ (x ₁ , x ₈) Qt ₃ (x ₁ , x ₈) Qt ₄ (x ₁ , x ₈)	Qt ₁ (x ₂ , x ₈) Qt ₂ (x ₂ , x ₈) Qt ₃ (x ₂ , x ₈)	Qt ₁ (x ₃ , x ₈) Qt ₂ (x ₃ , x ₈) Qt ₃ (x ₃ , x ₈) Qt ₄ (x ₃ , x ₈)					Pt ₁ (x ₈) Pt ₂ (x ₈) Pt ₃ (x ₈) Pt ₄ (x ₈) Pt ₅ (x ₈)

Де: СДЗ – система малосерійного складання; ТС – транспортна система; СС – складська система.

У таблиці 1 на перетині рядків і стовпців вказані допустимі правила перетворення і взаємодії об'єктів і процесів, що входять в систему складання.

Аналіз таблиці 1 дозволяє стверджувати, що:

Твердження 1. Кожен елемент СМС ВП (x_j) має хоч би одну властивість (Pt_n):

$$\bigvee_{j=1}^J x_j \exists_{n \in I} Pt_n \left[Pt_n(x_j) \in X_{\partial} \right]. \quad (.2)$$

Твердження 2. Кожен елемент системи складання (x_j) пов'язаний яким-небудь відношенням (Qt_n) з іншим елементом СДЗ (x_k):

$$\bigvee_{j=1}^J x_j \exists_{\substack{k \in J \\ k \neq j}} x_k \exists_{n \in I} Qt_n \left[Qt_n(x_j, x_k) \in X_{\partial} \right]. \quad (.3)$$

Твердження 3. Для кожного елементу системи складання (x_j) знайдеться інший елемент (x_k), сумісний з першим в процесі функціонування СМС ВП:

$$\forall_{j=1}^J x_j \exists_{\substack{k \in J \\ k \neq j}} x_k \exists_{n \in I} Q t_n [Q t_n (x_j, x_k) = Q t_1 (x_j, x_k)]. \quad (.4)$$

Твердження 4. Існують елементи (x_j і x_k), що зумовлюють один одного в процесі функціонування СМС ВП:

$$\forall_{j=1}^J x_j \exists_{\substack{k \in J \\ k \neq j}} x_k [Q t_2 (x_j, x_k) = Q t_2 (x_j, x_k)]. \quad (.5)$$

Твердження 5. Існують однакові елементи СМС ВП :

$$\forall_{j=1}^J x_j \exists_{k \in J} x_k [Q t_5 (x_j, x_k)]. \quad (.6)$$

Твердження 6. Для кожної деталі вироби з будь-якого напрямку існує інша деталь, яка обмежує її переміщення по цьому напрямку.

$$\forall_A \omega_1 \forall_N n \exists_A \omega_2 [n \partial \omega_1) \wedge (\omega_1 \diamond \omega_2)]. \quad (.7)$$

Твердження 7. Кожна деталь виробу з будь-якого напрямку входить в групу деталей, яка утворює замкнутий ланцюг взаємних обмежень що до їхнього переміщення.

$$\forall_A \omega_1 \forall_N n \forall_A \omega_2 K \exists_A \omega_k \left[\begin{array}{l} n(\omega_1) \wedge n(\omega_2) \wedge K \wedge n(\omega_k) \wedge (\omega_1 \diamond \omega_2) \vee \\ \vee (\omega_2 \diamond \omega_3) \wedge K \wedge (\omega_k \diamond \omega_1) \end{array} \right]. \quad (.8)$$

Твердження 8. Для кожної деталі виробу існує інша або інші деталі, які визначають її стан.

$$\forall_A \omega_1 \forall_N n \exists_A \omega_2 \left\{ n(\omega_1) \wedge n \partial \omega_2) \wedge \left[(\omega_1 \overset{k}{\rightarrow} \omega_2) \vee (\omega_1 \overset{r}{\rightarrow} \omega_2) \right] \wedge (\omega_2 \overset{b}{\rightarrow} \omega_1) \right\}. \quad (.9)$$

Твердження 9. Будь-яка пара деталей у виробі з будь-якого напрямку входить в групу деталей, що утворюють замкнутий ланцюг взаємних обмежень їхнього переміщення.

$$\forall_{\substack{A \\ \omega_1}} \forall_{\substack{A \\ \omega_2}} \forall_{\substack{N \\ n}} \exists_{\substack{A \\ \omega_3}} \exists_{\substack{A \\ \omega_4}} K \exists_{\substack{A \\ \omega_k}} K \exists_{\substack{A \\ \omega_i}} \left[\begin{array}{l} n(\omega_1) \wedge n(\omega_2) \wedge K \wedge n(\omega_k) \wedge K \wedge n(\omega_i) \wedge \\ \wedge (\omega_1 \diamond \omega_3) \wedge (\omega_3 \diamond \omega_4) \wedge K \wedge \\ \wedge (\omega_k \diamond \omega_2) \wedge \wedge (\omega_2 \diamond \omega_i) \wedge K \wedge \\ \wedge (\omega_i \diamond \omega_1) \end{array} \right]. \quad (.10)$$

Твердження 10. Для будь-якої пари деталей завжди існує така послідовність їх установки при складанні виробу, коли одна деталь не обмежує доступ до місця установки іншої.

$$\forall_{\substack{A \\ \omega_1}} \forall_{\substack{A \\ \omega_2}} \left\{ \left[(\omega_1 \text{ p } \omega_2) \wedge \overline{(\omega_1 - (\omega_2))} \right] \vee \left[(\omega_2 \text{ p } \omega_1) \wedge \overline{(\omega_2 - (\omega_1))} \right] \right\}. \quad (.11)$$

Твердження 11. Будь-який замкнутий ланцюг взаємних обмежень містить хочаб пару деталей з нефіксованим взаємним обмеженням.

$$\exists_{\substack{A_c \\ \omega_1}} \exists_{\substack{A_c \\ \omega_2}} \left[H(\omega_1) \wedge H\phi(\omega_2) \wedge (\omega_1 \diamond \omega_2) \right]. \quad (.12)$$

Твердження 12. Якщо одна деталь (u_1) є базовою (b) для іншої (u_2), то базову встановлюють раніше тієї, для якої вона є базовою.

$$\exists_{\substack{A \\ u_1}} \exists_{\substack{A \\ u_2}} \left[\left(u_1 \xrightarrow{b} u_2 \right) \Rightarrow (u_1 \text{ p } u_2) \right]. \quad (.13)$$

Твердження 13. Якщо одна деталь (u_1) обмежує доступ до іншої (u_2), то обмежену встановлюють раніше тієї, яка її обмежує.

$$\exists_{\substack{A \\ u_1}} \exists_{\substack{A \\ u_2}} \left[(u_2 - (u_1)) \Rightarrow (u_1 \text{ p } u_2) \right]. \quad (.14)$$

Твердження 14. Якщо є хоч би одна деталь з'єднання (u), яка має бути встановлена раніше деталі іншого з'єднання (v), то усі деталі

першого з'єднання $p(u)$ встановлюють раніше деталей другого з'єднання $p(v)$, що не увійшли до першого.

$$\exists_{A_{S_1}} u \exists_{A_{S_2}} v (u \text{ p } v) \Rightarrow \exists_{A_{S_1}} u \exists_{A_{S_2}} v \{ \forall p [p(u) \text{ p } p(v)] \Rightarrow (u \text{ p } v) \}. \quad (.15)$$

ДОДАТОК Б

Формальний запис умов складання виробу приладобудування

Очевидно, що точність імітаційної моделі СМС ВП залежить не лише від повноти опису взаємодій в системі складання, але і від глибини опису підсистем, що імітуються (ТМ, СДЗ і СС) і процесів управління ними (технічних, технологічних і організаційних).

Сформулюємо основні правила створення організаційно-технічних і технологічних структур СМС ВП, використовуючи опис семантичної мережі (рис. 2.7), (2.18) ÷ (2.23), а так само базові визначення і твердження (табл. 2.9), (2.24) ÷ (2.38). Розіб'ємо їх на три групи: організаційні (P_i^o) , технічні (P_j^t) і технологічні (P_k^s) і.

Правило 1 (P_1^t) . Елементи a_1 і a_2 утворюють технологічну систему, якщо при їх взаємодії елемент a_2 є частиною конструктивної структури і системи управління елементу a_1 :

$$Qt_1(a_1, a_2) | Qt_2(a_1, a_2) \wedge Qt_3(a_1, a_2). \quad (.16)$$

Правило 2 (P_1^s) . Технологічна операція (ТО) - x_1^i може бути поставлена в чергу на виконання (тобто партія виробів (ПВ) переходить в стан "Очікування розвантаження" - $S_{7,2}$; робоче місце складальника (РМС) - x_1^i або складська система (СС) - x_3^j), в якій вона має бути реалізована, переходить в стан "Очікування завантаження" - $S_{1,2}$ ($S_{3,4}$) у тому випадку, якщо воно вільне і знаходиться в стані "Очікування" - $S_{1,1}$ ($S_{3,1}$), а ТО є черговою в технологічному процесі (ТП) - (x_6^1) складання виробу - (x_7^n) , що знаходиться в стані "Розібрано" - $S_{7,1}$:

$$\begin{aligned} & \exists_{i \in I} x_1^i \exists_{j \in J} x_3^j \exists_{k \in K} x_5^k \exists_{l \in L} x_6^l \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[\left[\left(x_7^n = S_{7,1} \right)^t \wedge Qt_2 \left(x_7^n, x_6^l \right) \wedge K \right] \wedge K \right. \right. \\ & \left. \left. K \wedge \left[\left[\left[Qt_3 \left(x_5^k, x_1^i \right) \wedge K \right] \vee K \right] \wedge \left[K \wedge \left(x_1^i = S_{1,1} \right)^t \right] \vee \left[K \vee \left[Qt_3 \left(x_5^k, x_3^j \right) \wedge K \right] \wedge \left[K \wedge \left(x_3^j = S_{3,1} \right)^t \right] \right] \right] \right] \Rightarrow \left[\left(x_7^n = S_{7,2} \right)^t \wedge K \right. \right. \\ & \left. \left. K \wedge \left[\left(x_1^i = S_{1,2} \right)^t \vee K \right] \wedge \left[K \vee \left(x_3^j = S_{3,4} \right)^t \right] \right] \right\}, \quad (\partial.17) \end{aligned}$$

де I, J, K, L, M - кількість СМС, СС, ТО, ТП, ПВ; x_g^f - характеристика стану f -го об'єкту g -го типу; $(\dots)^t$ - вираз в дужках залежить від часу протікання процесу моделювання.

Правило 3 (P_1^s). Партія деталей переходить в стан "Вузол" - $S_{7,7}$, якщо склад - x_3^j , на якому вона знаходиться, перебуває в стані "Очікування" - $S_{3,1}$, а технологічний процесі їх складання (x_6^1) порожній (" \emptyset "), тобто більше не містить жодної операції складання:

$$\exists_{j \in J} x_3^j \exists_{l \in L} x_6^l \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[\left(x_7^n = S_{7,1} \right)^t \wedge Qt_4 \left(x_6^l, \emptyset \right) \wedge K \right] \wedge \left[K \wedge \left(x_3^j = S_{3,1} \right)^t \right] \Rightarrow \left(x_7^n = S_{7,7} \right)^t \right\}. \quad (.18)$$

Правило 4 (P_1^o). Якщо партія деталей - x_7^n знаходиться в стані "Очікування розвантаження" ($S_{7,2}$) на технологічному устаткуванні (СДЗ - x_1^p або С - x_3^r), а ТМ - x_2^{opt} , на якому ПВ може бути переміщена до місця виконання ТО (СДЗ - x_1^i або С - x_3^j), знаходиться в стані "Очікування" - $S_{2,1}$, то воно переходить в стан "Переміщення" - $S_{2,2}$ і знаходиться в ньому до тих пір, поки не досягне місця для розвантаження технологічного

устаткування. При цьому технологічне устаткування переходить в стан "Очікування розвантаження" - $S_{1,4}(S_{3,2})$.

$$\begin{aligned} & \exists_{\substack{p \in I \\ p \neq i}} x_1^p \exists_{x_2^{opt}} \exists_{\substack{r \in J \\ r \neq j}} x_3^r \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[\left(x_7^n = S_{7,2} \right)^t \wedge Qt_1 \left(x_7^n, x_2^{opt} \right) \wedge \left(x_2^{opt} = S_{2,1} \right)^t \wedge K \right. \right. \\ & \left. K \wedge \left[\left[Qt_3 \left(x_1^p, x_7^n \right) \wedge \left(x_1^p = S_{1,1} \right)^t \right] \vee K \right] \right] \Rightarrow \left[\left[Tpr(x_2^{opt}) \wedge K \right. \right. \\ & \left. \left. K \wedge \left[\left(x_1^p = S_{1,4} \right)^t \vee K \right] \right] \right] \left[K \vee \left[Qt_3 \left(x_3^r, x_7^n \right) \wedge \left(x_3^r = S_{3,1} \right)^t \right] \right] \right] \left. \right\}, \quad (\partial.19) \end{aligned}$$

де $Tpr(x_2^{opt})$ - властивість ТМ - x_2^{opt} переміщуватись по трасі - x_8^f між місцями завантаження/розвантаження СС (СДЗ) без партії виробів впродовж часу

$t_{pr_{x_2^{opt}}}$:

$$Tpr(x_2^{opt}) = t_{pr_{x_2^{opt}}} \left| Qt_1 \left(x_2^{opt}, x_8^f \right) \wedge \left(x_2^{opt} = S_{2,2} \right)^t \right|. \quad (.20)$$

Правило 5 (P_2^o) . Транспортний модуль (x_2^{opt}) переходить в стан "Завантаження" $(S_{2,3})$ і утворює з ПВ і СС (СДЗ) організаційно-технічну систему, якщо у момент часу $t_{pr_{x_2^{opt}}}$ він знаходиться в точці розвантаження СС (СДЗ) в змозі "Переміщення" - $S_{2,2}$. При цьому ПВ і СС (СДЗ) переходять відповідно в стани: "Розвантажується" - $S_{7,3}$, "Транспортування - Розвантаження" ("Розвантаження") - $S_{3,3}(S_{1,5})$.

$$\left. \begin{aligned}
& \forall x_2^{opt} \exists_{r \in J} x_3^r \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[Pl \left(x_2^{opt}, t_{pr_{x_2^{opt}}} \right) \dot{\vdash} \left(x_3^r = S_{3,2} \right)^t \wedge \left(x_7^n = S_{7,2} \right)^t \right] \Rightarrow K \right\} \\
& K \Rightarrow \left\{ \left[\left(x_2^{opt} = S_{2,3} \right)^t \wedge \left(x_3^r = S_{3,3} \right)^t \wedge \left(x_7^n = S_{7,3} \right)^t \wedge K \right] \right\} \\
& \forall x_2^{opt} \exists_{p \in I} x_1^p \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[Pl \left(x_2^{opt}, t_{pr_{x_2^{opt}}} \right) \dot{\vdash} \left(x_1^p = S_{1,4} \right)^t \wedge \left(x_7^n = S_{7,2} \right)^t \right] \Rightarrow K \right\} \\
& K \Rightarrow \left\{ \left[\left(x_2^{opt} = S_{2,3} \right)^t \wedge \left(x_1^p = S_{1,5} \right)^t \wedge \left(x_7^n = S_{7,3} \right)^t \wedge K \right] \right\}
\end{aligned} \right\}. \quad (d.21)$$

де: $Pl(x_2^{opt}, t)$ - предикат знаходження ТМ в місці завантаження (розвантаження)

СС (СДЗ) у момент часу $t = \begin{bmatrix} t_{pr_{x_2^{opt}}} \\ t_{tr_{x_2^{opt}}} \end{bmatrix}$, який формально можна описати наступними логічними виразами:

- при переміщенні ТМ до місця завантаження СС (СДЗ)

$$Pl \left(x_2^{opt}, t_{pr_{x_2^{opt}}} \right) \dot{\vdash} \left[\left(x_2^{opt} = S_{2,2} \right)^t \wedge \left(t = t_{pr_{x_2^{opt}}} \right) \right], \quad (.22)$$

- при переміщенні АТМ до місця розвантаження АС (ГПМ)

$$Pl \left(x_2^{opt}, t_{tr_{x_2^{opt}}} \right) \dot{\vdash} \left[\left(x_2^{opt} = S_{2,4} \right)^t \wedge \left(t = t_{tr_{x_2^{opt}}} \right) \right], \quad (.23)$$

Правило 6 (P_3^o). Транспортний модуль (x_2^{opt}) переходить із стану

"Завантаження" - $S_{2,3}$ у стан "Транспортування" - $S_{2,4}$, якщо

до моменту закінчення розвантаження СС (x_3^r)

$\begin{bmatrix} t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{rg_{x_3^r}} \end{bmatrix}$ партія виробів (x_7^n) із стану

"Розвантажуються" - $S_{7,3}$ переходить в стан "Транспортується

" - ($S_{7,4}$):

$$\forall x_2^{opt} \exists_{r \in J} x_3^r \exists_{n \in M} x_7^n \exists_{s \in S} x_8^s \left\{ \left[\begin{array}{l} Qt_1(x_2^{opt}, x_3^r) \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_7^n) \wedge (x_3^r = S_{3,3})^t \wedge K \\ K \wedge (x_7^n = S_{7,3})^t \wedge \left(t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{rg_{x_3^r}} \right) \div \end{array} \right] \Rightarrow K \right. \\ \left. K \Rightarrow \left[(x_2^{opt} = S_{2,4})^t \wedge (x_7^n = S_{7,4})^t \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_7^n) \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_8^s) \right] \right\}. \quad (.24)$$

Правило 7 (P_4^o). Склад (x_3^r) переходить із стану "Транспортування - Розвантаження" - $S_{3,3}$ у стан "Очікування" - $S_{3,1}$ тоді і тільки тоді, коли до моменту часу $\left\| t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{rg_{x_3^r}} + t_{pr_{x_3^r}} \right\|$ він вільний від розвантажуваної партії виробів (x_7^n).

$$\forall x_2^{opt} \exists_{r \in J} x_3^r \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[\begin{array}{l} \left[Qt_1(x_3^r, x_2^{opt}) \rightarrow \neg Qt_1(x_3^r, x_2^{opt}) \right] \wedge K \\ K \wedge \left(t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{rg_{x_3^r}} + t_{pr_{x_3^r}} \right) \div \wedge K \\ K \wedge (x_3^r = S_{3,3})^t \wedge K \\ K \wedge \left[Qt_1(x_3^r, x_7^n) \rightarrow \neg Qt_1(x_3^r, x_7^n) \right] \end{array} \right] \Rightarrow \left[(x_3^r = S_{3,1})^t \right] \right\}. \quad (.25)$$

Правило 8 (P_2^s). Якщо партія виробів - x_7^n и ТМ - x_2^{opt} , на якому вона розташована, у момент часу ($t=0$) знаходяться в станах: "Транспортується" - $S_{7,4}$ і "Транспортування" - $S_{2,4}$, то вони в цих станах знаходитимуться доти $t = t_{tr_{x_2^{opt}}}$, поки ТМ не досягне місця завантаження СС (СДЗ).

$$\forall x_2^{opt} \exists_{p \in I} x_1^p \exists_{r \in J} x_3^r \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[\begin{array}{l} \left[(x_7^n = S_{7,4})^t \wedge Qt_1(x_7^n, x_2^{opt}) \wedge (x_2^{opt} = S_{2,1})^t \wedge K \right. \right. \\ \left. \left. K \wedge (t \neq 0) \wedge \left[\begin{array}{l} (x_1^p = S_{1,2})^t \vee K \\ K \vee (x_3^r = S_{3,4})^t \end{array} \right] \right] \Rightarrow \left[\begin{array}{l} Ttr(x_2^{opt}) \wedge (t > 0) \wedge K \\ K \wedge \left(t < t_{tr_{x_2^{opt}}} \right) \div \end{array} \right] \right] \right\}, \quad (.26)$$

де $Ttr(x_2^{opt})$ - властивість ТМ - x_2^{opt} переміщатися по трасі - x_8^f між місцями завантаження / розвантаження СС (СДЗ) з партією виробів впродовж часу

$t_{x_2^{opt}}^{tr}$:

$$Ttr(x_2^{opt}) = t_{tr_{x_2^{opt}}} \left| Qt_1(x_2^{opt}, x_8^f) \wedge (x_2^{opt} = S_{2,4})^t \right. \quad (.27)$$

Правило 9 (P_5^o). Транспортний модуль (x_2^{opt}) переходить в стан "Розвантаження" ($S_{2,5}$) і утворює з ПВ і СС (СДЗ) організаційно-технічну систему, якщо у момент часу $t_{x_2^{opt}}^{tr}$ він знаходиться в точці розвантаження СС (СДЗ) в змозі "Транспортування" - $S_{2,4}$. При цьому ПВ і СС (СДЗ) переходять відповідно в стани: "Завантажується" - $S_{7,5}$, "Завантаження - Транспортування" ("Завантаження - Обробка") - $S_{3,5}(S_{1,3})$:

$$\left. \begin{aligned} & \forall x_2^{opt} \exists_{r \in J} x_3^r \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[Pl \left(x_2^{opt}, t_{tr_{x_2^{opt}}} \right) \wedge (x_3^r = S_{3,4})^t \wedge (x_7^n = S_{7,4})^t \right] \Rightarrow K \right. \\ & K \Rightarrow \left[\left(x_2^{opt} = S_{2,5} \right)^t \wedge (x_3^r = S_{3,5})^t \wedge (x_7^n = S_{7,5})^t \wedge K \right] \\ & \left. \left[K \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_3^r) \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_7^n) \right] \right\} \\ & \forall x_2^{opt} \exists_{p \in I} x_1^p \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[Pl \left(x_2^{opt}, t_{tr_{x_2^{opt}}} \right) \wedge (x_1^p = S_{1,2})^t \wedge (x_7^n = S_{7,4})^t \right] \Rightarrow K \right. \\ & K \Rightarrow \left[\left(x_2^{opt} = S_{2,5} \right)^t \wedge (x_1^p = S_{1,3})^t \wedge (x_7^n = S_{7,5})^t \wedge K \right] \\ & \left. \left[K \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_1^p) \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_7^n) \right] \right\} \end{aligned} \right\} \quad (.28)$$

Правило 10 (P_6^o). Транспортний модуль (x_2^{opt}) із стану "Розвантаження" - $S_{2,5}$ переходить в стан "Очікування" - $S_{2,1}$, якщо до моменту

закінчення завантаження СС (x_3^r) $\left[\begin{array}{c} t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{zg_{x_3^r}} \\ \end{array} \right]$ партія

виробів (x_7^n) із стану "Завантажується" - $S_{7,5}$ переходить в стан "Складається" - $(S_{7,6})$:

$$\forall x_2^{opt} \exists x_3^r \exists x_7^n \left\{ \left[\begin{aligned} &Qt_1(x_2^{opt}, x_3^r) \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_7^n) \wedge (x_3^r = S_{3,5})^t \wedge K \\ &K \wedge (x_7^n = S_{7,5})^t \wedge \left(t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{zg_{x_3^r}} \right) \end{aligned} \right] \Rightarrow K \right. \\ \left. K \Rightarrow \left[(x_2^{opt} = S_{2,1})^t \wedge (x_7^n = S_{7,6})^t \wedge Qt_1(x_3^r, x_7^n) \right] \right\}. \quad (.29)$$

Правило 11 (P_7^o) . Склад (x_3^r) із стану "Завантаження - Транспортування" - $S_{3,5}$

переходить в стан "Очікування" - $S_{3,1}$ у тому випадку, якщо

до моменту часу $\left[t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{zg_{x_3^r}} + t_{pr_{x_3^r}} \right]$ партія виробів (x_7^n)

знаходиться в осередку складу:

$$\forall x_2^{opt} \exists x_3^r \exists x_7^n \left\{ \left[\begin{aligned} &\left[Qt_1(x_3^r, x_2^{opt}) \rightarrow \neg Qt_1(x_3^r, x_2^{opt}) \right] \wedge K \\ &K \wedge \left(t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{zg_{x_3^r}} + t_{pr_{x_3^r}} \right) \wedge K \\ &K \wedge (x_3^r = S_{3,5})^t \end{aligned} \right] \Rightarrow K \right. \\ \left. K \Rightarrow \left[\begin{aligned} &(x_3^r = S_{3,1})^t \wedge K \\ &(x_7^n = S_{7,1})^t \end{aligned} \right] \right\}. \quad (.30)$$

Правило 12 (P_8^o) . Транспортний модуль (x_2^{opt}) із стану "Завантаження" - $S_{2,3}$

переходить в стан "Транспортування" - $S_{2,4}$, якщо до

моменту закінчення розвантаження СДЗ (x_1^p) $\left[t = t_{rg_{x_1^p}} \right]$

партія виробів (x_7^n) із стану "Розвантажується" - $S_{7,3}$

переходить в стан "Транспортується" - $(S_{7,4})$. При цьому

СДЗ із стану "Розвантаження" - $S_{1,5}$ переходить в стан "Очікування" - $S_{1,1}$:

$$\begin{aligned} & \forall x_2^{opt} \exists_{p \in I} x_1^p \exists_{n \in M} x_7^n \exists_{s \in S} x_8^s \left\{ \left[\begin{aligned} & Qt_1(x_2^{opt}, x_1^p) \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_7^n) \wedge (x_1^p = S_{1,5})^t \wedge K \\ & K \wedge (x_7^n = S_{7,3})^t \wedge \left(t = t_{zg_{x_1^p}} \right) \end{aligned} \right] \Rightarrow K \right. \\ & \left. K \Rightarrow \left[\begin{aligned} & (x_2^{opt} = S_{2,4})^t \wedge (x_7^n = S_{7,4})^t \wedge (x_1^p = S_{1,1})^t \wedge K \\ & K \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_7^n) \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_8^s) \end{aligned} \right] \right\}. \quad (d.31) \end{aligned}$$

Правило 13 (P_9^o). Транспортний модуль (x_2^{opt}) із стану "Розвантаження" - $S_{2,5}$

переходить в стан "Очікування" - $S_{2,1}$, якщо до моменту

закінчення завантаження СДЗ (x_1^p) $\left[\begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \end{array} \right] t = t_{zg_{x_1^p}} \left[\begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \end{array} \right]$ партія

виробів (x_7^n) із стану "Завантажується" - $S_{7,5}$ переходить в стан "Збирається (складується)" - ($S_{7,6}$):

$$\begin{aligned} & \forall x_2^{opt} \exists_{p \in I} x_1^p \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[\begin{aligned} & Qt_1(x_2^{opt}, x_1^p) \wedge Qt_1(x_2^{opt}, x_7^n) \wedge (x_1^p = S_{1,3})^t \wedge K \\ & K \wedge (x_7^n = S_{7,5})^t \wedge \left(t = t_{zg_{x_1^p}} \right) \end{aligned} \right] \Rightarrow K \right. \\ & \left. K \Rightarrow \left[\begin{aligned} & (x_2^{opt} = S_{2,1})^t \wedge (x_7^n = S_{7,6})^t \wedge Qt_1(x_1^p, x_7^n) \end{aligned} \right] \right\}. \quad (.32) \end{aligned}$$

Правило 14 (P_{10}^o). СДЗ (x_1^p) із стану "Завантаження - Складання" - $S_{1,3}$

переходить в стан "Очікування розвантаження" - $S_{1,4}$ тоді і

тільки тоді, коли до моменту часу $\left[\begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \end{array} \right] t = t_{zg_{x_1^p}} + t_{ob_{x_1^p}} \left[\begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \end{array} \right]$ партія

виробів (x_7^n) після складання знаходиться у вихідному накопичувачі СДЗ в стані і "Очікування розвантаження" - $S_{7,2}$:

$$\forall x_2^{opt} \exists_{p \in I} x_1^p \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \left[\begin{array}{l} \left[Qt_1(x_1^p, x_2^{opt}) \rightarrow \neg Qt_1(x_1^p, x_2^{opt}) \right] \wedge K \\ K \wedge \left(t = t_{zg_{x_1^p}} + t_{ob_{x_1^p}} \right) \wedge K \\ K \wedge (x_1^p = S_{1,3})^t \wedge (x_7^n = S_{7,6})^t \\ K \Rightarrow \left[\begin{array}{l} (x_1^p = S_{1,4})^t \wedge K \\ (x_7^n = S_{7,2})^t \end{array} \right] \end{array} \right] \Rightarrow K \right\}. \quad (.33)$$

До основних вимог при формуванні складальної одиниці відносяться наступні [1]:

1. У складальну одиницю повинна входити сукупність скріплених деталей. Така група деталей може збиратися незалежно від інших деталей виробу і в зібраному виді може бути представлена у якості виробу, до якого пред'являються відповідні точності вимоги.
2. У складальну одиницю повинні входити тільки ті деталі, які, будучи зібраними, не обмежуватимуть доступ до місця складання деталям, що не увійшли до цієї складальної одиниці.

Правило 15 (P_3^s) . У складальну одиницю повинна входити сукупність скріплених деталей $(\omega_2, \dots, \omega_1)$. Така група деталей може збиратися незалежно від інших деталей виробу (ω_3) і в зібраному виді може бути представлена у якості виробу, до якого пред'являються відповідні точності вимоги.

$$\exists_A \omega_1 \exists_{A_{sb}} \omega_2 (\omega_2, K, \omega_1) \Rightarrow \exists_{A_{sb}} \omega_3 \forall p [p(\omega_3) \sim p\delta\omega_3], \quad (.34)$$

де вираження $\forall p [p(\omega_3) \approx p(\omega_3)]$ описує істинне висловлювання, коли ω_3 і ω_1 — різні імена одного і того ж предмета.

Виходячи із структурних елементів виробу і особливостей процесу складання (паралельність і взаємна незалежність виконання окремих частин виробу), послідовність складання виробу можна розбити на три рівні:

1. Послідовність виконання складальних одиниць, що входять у виріб.
2. Послідовність виконання з'єднань в кожній складальній одиниці.
3. Послідовність установки деталей при виконанні кожного з'єднання.

Правило 16 (P_4^s) . Якщо одна складальна одиниця (u_1) входить $[p(u_1) \sim p(u_2)]$ до складу іншої (u_2) , то та, що входить збирається раніше тієї, в яку вона входить $(u_1 \text{ р } u_2)$.

$$\forall_{A_{sb1}} u_1 \exists_{A_{sb2}} u_2 \forall p [p(u_1) \sim p(u_2)] \Rightarrow \forall_{A_{sb1}} u_1 \forall_{A_{sb2}} u_2 (u_1 \text{ р } u_2), \quad (.35)$$

де р — знак відношення передування.

Правило 17 (P_5^s) . Якщо усі деталі однієї складальної одиниці A_{sb1} входять до складу іншої A_{sb2} , то деталь з A_{sb1} , обмежену в переміщенні деталями з A_{sb2} , встановлюють першої при складанні складальної одиниці A_{sb1} , тобто вона є базовою деталлю цієї складальної одиниці.

$$\begin{aligned} & \forall_{A_{sb1}} u_1 \exists_{A_{s2}} v_2 \exists_{A_{sb2}} u_2 \exists_{A_{sb2}} v_2 \forall p \{ [p(u_1) \sim p(v_1)] \wedge (u_2 \xrightarrow{k} v_2) \} \Rightarrow K \\ & K \Rightarrow \{ \bar{\forall} p [p(u_1) \sim p(u_2)] \Rightarrow u_2 (u_2 \text{ р } u_2) \}. \end{aligned} \quad (.36)$$

Основні вимоги до порядку складання, виходячи з умов базування і доступу, можна виразити наступними двома правилами:

Правило 18 (P_6^s) . Якщо одна деталь є базовою для іншої, то її встановлюють раніше тієї, для якої вона є базовою.

$$\exists_A u_1 \exists_A u_2 [(u_1 \xrightarrow{b} u_2) \Rightarrow (u_1 \text{ р } u_2)]. \quad (.37)$$

Правило 19 (P_7^s) . Якщо одна деталь обмежена по доступу іншою, то обмежену встановлюють раніше тієї, яка її обмежує.

$$\exists_A u_1 \exists_A u_2 [(u_2 - (u_1) \Rightarrow (u_1 \text{ р } u_2)]. \quad (.38)$$

ДОДАТОК В

Методика 3D - моделювання функціональних характеристик СМС ВП

Імітаційне моделювання є одним із дієвих засобів перевірки конструкторсько-технологічних та організаційних рішень при синтезі структур та параметрів виробничих систем [Error: Reference source not found]. Воно дозволяє ще на етапі конструкторсько-технологічної підготовки виробництва уникнути помилок при розробці технологічних процесів механоскладального виробництва та технічних засобів їхньої реалізації.

Методика імітаційного моделювання виробничих систем складання вузлі. Для розробки імітаційної моделі виробничої системи необхідно створити технологічний процес обробки в одній з САМ – систем (наприклад, „ТехноПро 5+”, рис. 3.13), визначити елементи технічного забезпечення технологічного процесу та розробити їхні імітаційні моделі, в тій мірі, в якій вони реалізують технологічні функції (рис. 3.13, 3.14). Для побудови моделі виробничої системи (ВС) необхідно створити 3D моделі її елементів (вузлів, деталей, основного обладнання, допоміжного обладнання тощо) у одній з CAD - систем: SolidWorks, КОМПАС, CATIA, TFlex та інших, і експортувати їх у STL - формат. Формат STL був розроблений для потреб стереолітографії й призначений для подання тривимірних моделей.

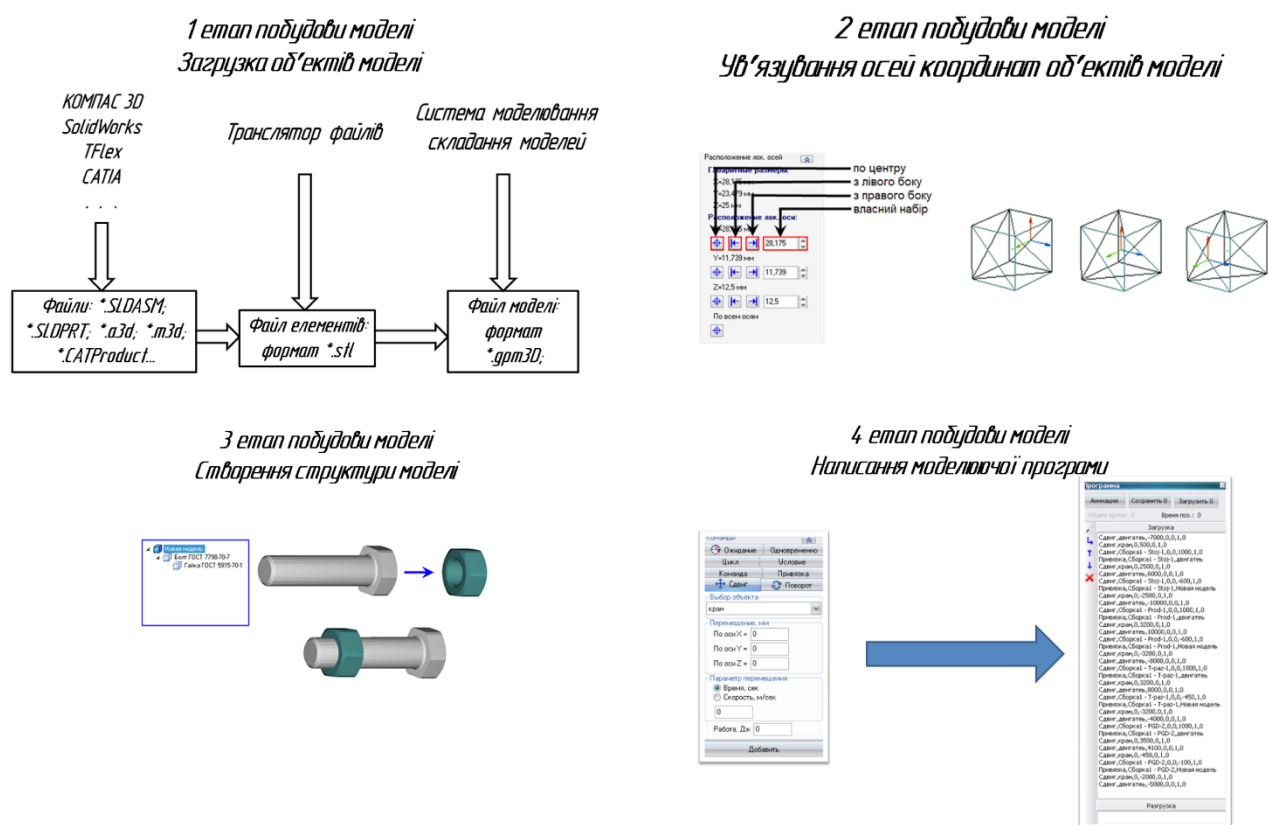



Рис. 3.13. Схема послідовності розробки імітаційної 3D – моделі виробничої системи

Побудова модуля здійснюється в кілька етапів:

1. Завантаження всіх об'єктів, які беруть участь у процесі побудови ВС;
2. Ув'язування осей координат об'єктів моделі ВС;
3. Створення структури моделі ВС;
4. Написання програми моделювання ВС.

На першому етапі побудови моделі ВС виконується завантаження об'єктів (у форматі *.STL). Вся побудова моделі починається із завантаження об'єктів, за допомогою піктограми «Додати об'єкт» - , або через меню «Модель» (рис. 1, 3). У такий спосіб завантажуюмо всі необхідні об'єкти.

На другому етапі побудови виконується ув'язування осей координат об'єктів моделі. Для зміни розташування елемента ВС в просторі, необхідно вибрати потрібний елемент у дереві побудови, після чого вихідні координати (по осях X, Y, Z) відобразяться у вкладці «Локальні осі» (рис. 3.14).

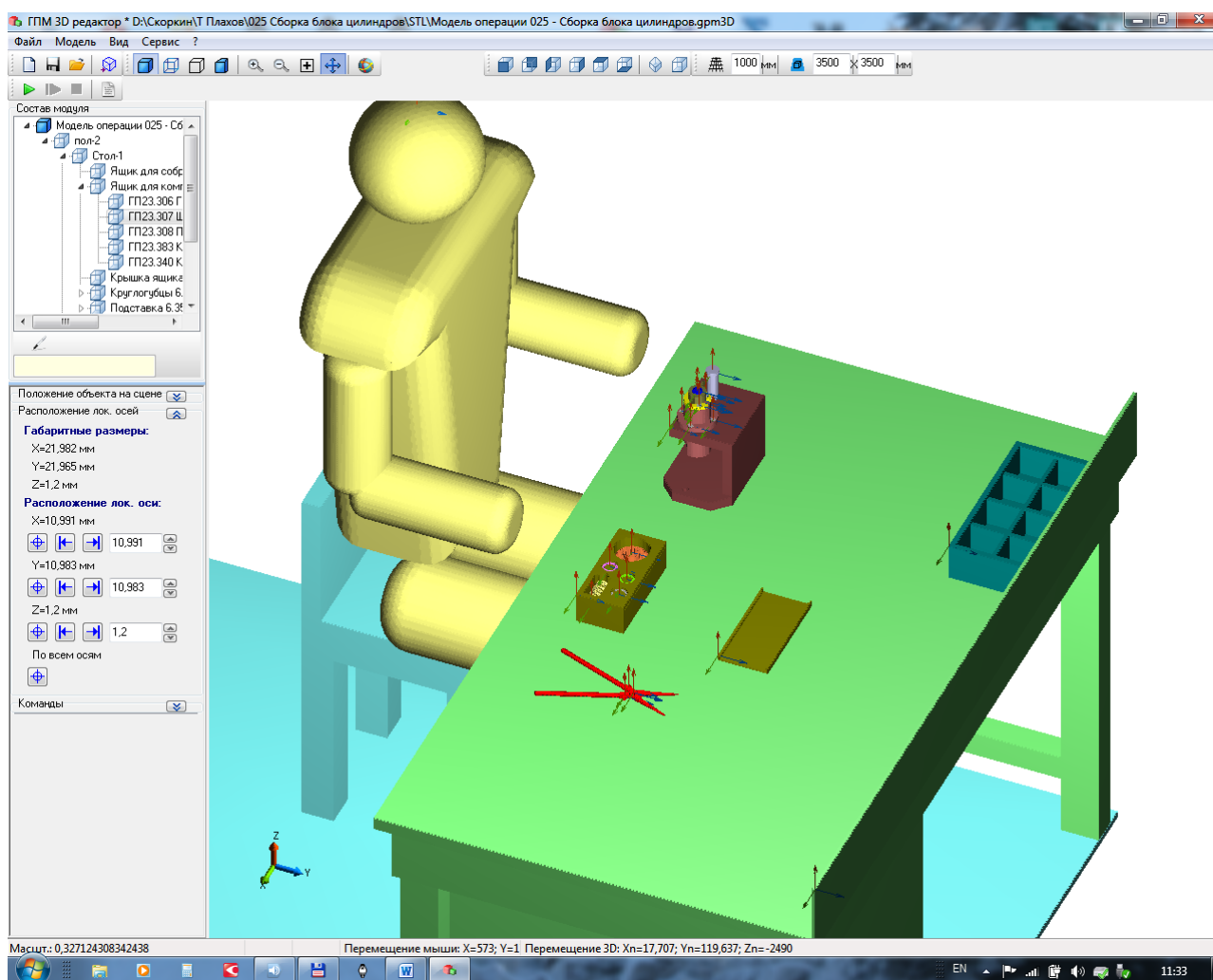


Рис. 3.14. Настроювання положення та систем координат елементів моделі

У такий спосіб можна виставити осі об'єкта моделі в будь-якому місці об'єкта, як у ньому так і за його межами (рис. 3.14). Це необхідно для того, щоб система мала уявлення про об'єкт як про технічну модель, а саме якщо це тіло обертання, то його вісь обертання буде знаходитися безпосередньо в центрі об'єкта (локальна вісь), але цю вісь задає користувач по функціональності об'єкта, може бути таке що елемент складається з декількох примітивів (кілька тіл обертання) у різних осях, то функціональним буде лише один примітив необхідний для функціонування елемента.

На третьому етапі побудови моделі ВС виконується створення структури моделі. Перед початком накладення зв'язків (прив'язок) необхідно визначити приналежність кожного об'єкта, а потім приступати до створення структури. Створення структури здійснюється шляхом перетаскування (нащадків) назв

об'єктів у дереві побудови в необхідний об'єкт (батько) у цьому ж дереві побудови (рис. 3.14). У такий спосіб головним буде „Стойка”, а другорядним ”Шпindelная бабка”, і при переміщенні стійки буде зміщуватися й шпindelная бабка.

На четвертому етапі побудови моделі ВС розробляється програма імітаційного моделювання роботи ВС. Для написання програми можуть використовуватись команди: зміщення, поворот, очікування, цикл, умова, одночасно, команда, показати/сховати, зв'язування, координати (рис. 3.15).

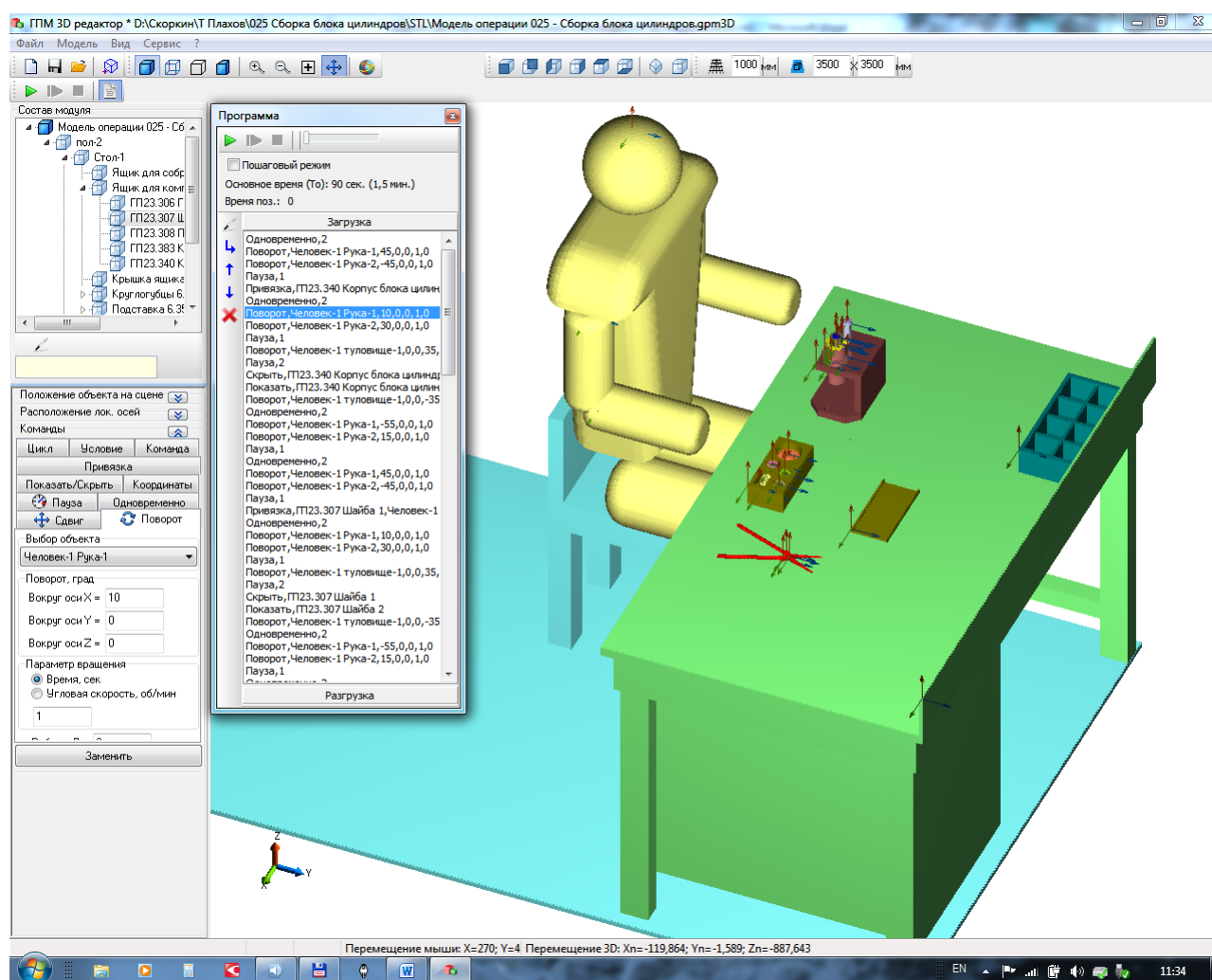


Рис. 3.15. Розробка програми моделювання роботи робочого місця складальника

Наведені команди розподіляються по наступним групам:

- команди руху: СДВИГ, ПОВОРОТ, ПАУЗА; КОМАНДА;
- команди умов та циклічних дій: ЦИКЛ, УСЛОВИЕ, ПЕРЕХОД, ОДНОВРЕМЕННО;

- команди візуалізації: ПОКАЗАТЬ, СКРИТЬ;
- команди позиціонування: ПРИВ'ЯЗКА, КООРДИНАТЫ.

Команда «Сдвиг» виконує переміщення обраного елемента по його локальних осях X, Y, Z (мм), із заданим часом (сек) і витраченою енергією - виконаною роботою (Дж). Структура команди «Сдвиг»:

Сдвиг,[ім'я об'єкту],[X],[Y],[Z],[t],[A];

де: «Сдвиг» - назва команди, що виконується;

[ім'я об'єкту] - ім'я елемента який необхідно зрушити;

[X],[Y],[Z] - координати по яких зрушується елемент відносно його локальних осей (мм.);

[t] - час виконання зрушення (сек.);

[A] - витрачена енергія на виконання зрушення (Дж.);

Команда «Поворот» виконує поворот обраного елемента по його локальних осях X, Y, Z (град), із заданим часом (сек.) і витраченою енергією - виконаної роботи (Дж). Структура команди «Поворот»:

Поворот,[ім'я об'єкту],[αX],[αY],[αZ],[t],[A];

де: «Поворот» - назва команди, що виконується;

[ім'я об'єкту] - ім'я елемента, який необхідно повернути;

[αX],[αY],[αZ] – кути, на які повертається елемент відносно його локальних осей (град.);

[t] - час виконання повороту, сек;

[A] - витрачена енергія на виконання повороту (Дж.).

Команда «Пауза» виконує очікування виконання наступних команд. Структура команди «Пауза»:

Пауза,[t];

де: «Пауза » - назва команди, що виконується;

[t] - час очікування до виконання наступної команди (сек.).

Команда «Команда» виконує нескінченне обертання обраного елемента по його локальних осях X, Y, Z (град). Структура команди «Команда»:

Команда, [ім'я елемента],[αX],[αY],[αZ],[Параметр];

де: «Команда» - назва команди, що виконується;

[ім'я елемента] - ім'я елемента, який необхідно обертати;

[αX],[αY],[αZ] – швидкість обертання елемента навколо локальної вісі (об./хв.);

[Параметр] - параметр команди, відповідальний за вмикання й вимикання команди. Цей параметр має два значення: «Пуск» обертання елемента й «Стоп» обертання елемента.

Команда «Цикл» реалізує циклічне виконання заданої кількості команд із заданою кількістю циклів (повторень). Структура команди «Цикл»:

Цикл, [n], [n1];

де: «Цикл» - назва команди, що виконується;

[n] - кількість команд, який необхідно виконати;

[n1] – кількість циклів для виконання команд.

Команда «Условие» - це команда потрібна для виконання або невиконання ряду обраних команд (визначається користувачем). Структура команди «Условие»:

Условие,[<текст условия>],[n];

де: «Условие» - назва команди, що виконується;

[n] - кількість команд, що виконується (визначається користувачем).

Команда «Переход» - це команда потрібна для невиконання ряду обраних команд (визначається користувачем). Структура команди «Условие»:

Переход,[n];

де: «Переход » - назва команди, що виконується;

[n] - кількість команд, що не виконується (визначається користувачем).

Команда «Одновременно» реалізує одночасне виконання заданої кількості команд. Структура команди «Одновременно»:

Одновременно, [n];

де: «Одновременно» - назва команди, що виконується;

[n] - кількість команд, що виконуються одночасно.

Команда «Показать» відтворює зображення елемента. Структура команди «Показать»:

Показать,[<ім'я елемента>];

де: «Показать» - назва команди, що виконується;

[<ім'я елемента>] - ім'я елемента, що зображується.

Команда «Скрыть » знищує зображення елемента. Структура команди «Скрыть»:

Скрыть,[<ім'я елемента>];

де: «Показать» - назва команди, що виконується;

[<ім'я елемента>] - ім'я елемента, зображення якого знищується.

Команда «Привязка» реалізує зміну зв'язку елемента з іншими елементами в структурі моделі (рис. 3). Структура команди «Привязка»:

Привязка,[<ім'я елемента>],[<ім'я елемента 1>];

де: «Привязка» - назва команди, що виконується;

[<ім'я елемента>] - ім'я елемента, для якого змаюється зв'язок з іншими елементами;

[ім'я елемента 1] - ім'я елемента, з яким встановлюється зв'язок елемента з іменем [<ім'я елемента>].

Команда «Координаты» виконує зміщення початку системи координат елемента вздовж його локальних осей X, Y, Z (мм.). Кут повороту осей не змінюється. Структура команди « Координаты»:

Координаты,[ім'я об'єкту],[X],[Y],[Z];

де: « Координаты» - назва команди, що виконується;

[ім'я об'єкту] - ім'я елемента, початок системи координат якого зміщується;

[X],[Y],[Z] – зміщення початку системи координат елемента вздовж його локальних осей (мм.).

Приклад фазових положень гнучкого виробничого модуля моделі МЦ800 на протязі імітаційного моделювання наведено на рисунку 3.16.

На п'ятому етапі побудови моделі ВС виконується її імітаційне моделювання. Перед цим її необхідно зберегти у форматі (*.gpm3D).

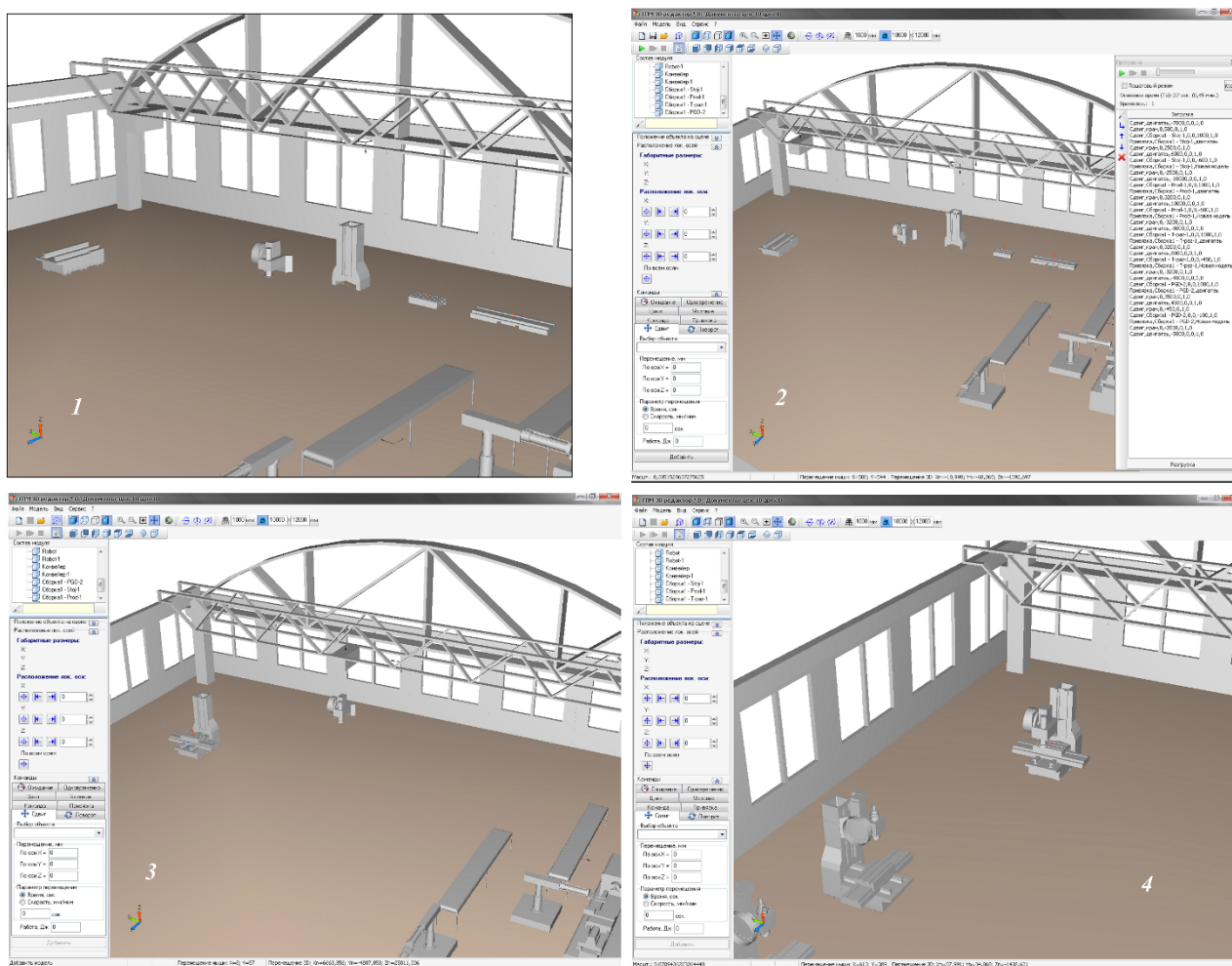


Рис. 3.16. Ілюстрація деяких етапів імітаційного моделювання процесу складання вертикально-фрезерного верстата: 1-3 етапи процесу складання верстата.

Принцип візуалізації виробничого процесу. Візуалізація технологічного процесу — спосіб відображення інформації про стан технологічного обладнання й параметри технологічного процесу на моніторі комп'ютера або операторської панелі у [системі автоматичного керування у виробництві](#), передбачає також графічні способи керування технологічним процесом. Система візуалізації повинна враховувати вимоги, пропонувані до [людино-машинному інтерфейсу](#). Візуалізація технологічного процесу реалізується в ряді [екранів](#) або [вікон](#), які можуть являти собою [ієрархічну](#) систему. В основі системи відображення лежить [мнемосхема](#) технологічного процесу, статичне зображення у візуально простій й інтуїтивно зрозумілій формі, яка показує елементи обладнання, можливо, оброблювані матеріали й продукцію, і їхня

взаємодія, порядок обробки. Статична мнемосхема поживається — [анімується](#), відображаючи реальний стан обладнання й сировини.

Аналіз результатів моделювання. Система імітаційного моделювання виводить результати виконаної роботи у формат *.html.

HTML - мова World Wide Web. Документ HTML складається зі спеціальних команд, що визначають форму його відображення при перегляді.

Структура аналізу результатів:

1. Опис складу моделі - перераховуються вхідні елементи, що входять до моделі;
2. Опис структури елементів, що входять до моделі - описується структура кожного елемента вхідного в складання моделі, де відображається його зовнішній вигляд й описуються параметри елемента: положення в просторі, його габаритні розміри, внутрішня структура елемента;
3. Опис структури моделі – виконується опис структури моделі, оцінка взаємозв'язків елементів;
4. Опис програми моделювання – опис загального виду моделі та програми її моделювання;
5. Опис технічних параметрів роботи моделі - опис параметрів роботи моделі: час виконання роботи (складання) моделі, витрачена енергія елементів моделі.

Після надходження даних в дію вступає блок команд, де перевіряється наявність тієї чи іншої команди, коли вона знаходиться вона відправляється на виконання. У блоці імітації існують ще блок переміщень, який відповідає за перетворення і візуалізацію руху елементів моделі. Кожен раз після виконання будь-якої команди, проводиться перевірка на кінець програми, якщо він досягнений, то програма припиняє свою дію, якщо ні то програма знову їде до блоку команд і перевіряє їх.

ДОДАТОК Г

Приклад моделі взаємозв'язку функціональних характеристик СМС ВП з параметрами процесу складання виробу "Блок циліндрів"

Розглянемо побудову імітаційної моделі складання вузла «Блок циліндрів» (рис. 4.5) в рамках складання вузла «Привід генератора» (рис. 4.1).

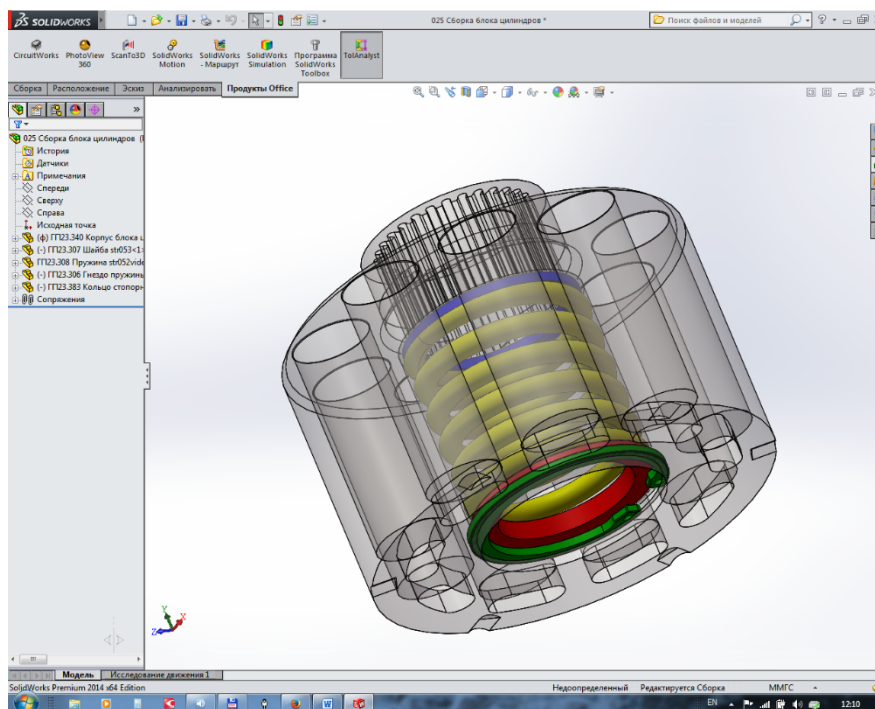


Рис. 4.5. Загальний вид вузла «Блок циліндрів»

Складання вузла «Блок циліндрів» виконано по методу вузлового складання на одному робочому місці (рис. 4.7). Технологічний процес містить в собі переходи, що дозволяють з'єднати блок циліндрів (4), шайбу (1), пружину (2), сидло пружини (3), кільце стопорне (5) (рис. 4.6).

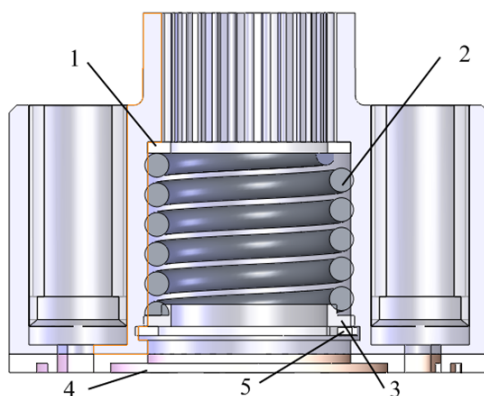


Рис. 4.6. Розташування локальних осей об'єкта

Згідно з методикою формування технологічних процесів складання в умовах малосерійного непотокового виробництва (розділ 3) розроблено імітаційну модель дільниці складання вузла «Блок циліндрів» (рис. 4.7), яка дозволила знайти найбільш ефективні структуру і параметри системи складання (табл. 4.2). Розрахунок оперативного часу по операціям та переходам виконано шляхом імітаційного моделювання процесу складання вузла (рис. 4.7).

Таблиця 4.2.

Послідовність складання вузла

№	Найменування	Операційний час, хв.
1	Встановлення блоку циліндрів до пристосування	0,304
2	Встановлення шайби	0,2
3	Встановлення пружини	0,06
4	Встановлення сидла пружини	0,2
5	Встановлення стопорного кільця	0,864

Тривимірна модель блоку циліндрів, розміщення технічного обладнання і інструменту, положення людини до складання з розмірними ланцюгами є вхідною інформацією для імітаційного моделювання складальної дільниці (рис. 4.7).

Моделювання складання блоку циліндрів виконано за допомогою програми моделювання, фрагменти якої наведені на рис 4.7., що розроблена за схемою складання вузла (рис. 4.8) і перевірена за параметрами точності в системі Solid Works 2014 (додатки: «Проверка зазоров», «Измерить»).

Таким же чином розроблені програми моделювання інших операцій складання, що формують технологічний процес складання вузла «Привід генератора».

Аналіз результатів моделювання організаційно-технологічної структури системи складання вузла "Привід генератора"

Формування імітаційної моделі ділянки складання вузла «Привід генератора» починається з розробки її організаційної структури (рис. 4.8) шляхом розміщення на плануванні складальних верстаків, транспортних шляхів та складських приміщень (рис. 4.3).

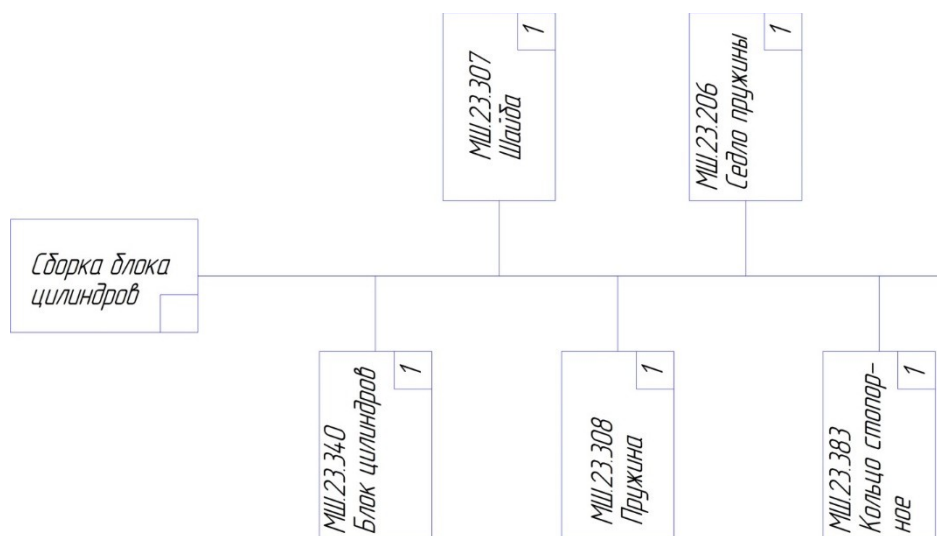


Рис. 4.8. Схема складання вузла «Блок циліндрів»

ГПС - [D:\Вер_2006.05.29\Тест\Gps\test_Новый.GPS]

Файл Пуск Редакторы Настройки ?

В начало ПУСК Тактов 0

Список оборудования Траса Операции - Технологии Партии Деталей

Наименование	N°	Тип	X:	Y:	Угол	*.2d	*.gpm
Верстак 1	1	ГПМ	23,5	-4,1	-20	Верстак.2d	1a73...
Верстак 2	2	ГПМ	15,5	0,1	90	Верстак.2D	1716...
Верстак 3	3	ГПМ	3,9	0,3	0	Верстак.2D	2012...
Верстак 4	4	ГПМ	3,8	10,6	90	Верстак.2D	1716...
Верстак 6	5	ГПМ	9,3	8,1	0	Верстак.2D	1834...
Верстак 7	6	ГПМ	15,9	8,1	0	Верстак.2D	1834...
Человек 1	7	Транспорт	26	-6	0	ЧеловекТележ...	
Человек 2	8	Транспорт	26	-6	0	ЧеловекТележ...	
Склад	9	Склад	28	2	90	РСК-50.2d	РСК...

Рис. 4.9. Структура елементів моделі ділянки складання вузла «Привід генератора»

Розміщення на плануванні обладнання, робітників і транспортних засобів відповідає початку роботи ділянки. Для пошуку найвигідніших структури і параметрів системи складання за критеріями (4.1) згенеровано та відібрано сім варіантів (за кількістю слюсарних верстаків) технологічних структур системи складання вузла «Привід генератора» (рис. 3.11).

Поворот, 1 - окисть-1,0,0,144,7,1,0
Поворот, 1 - шиндель-1,0,0,146,87,1,0
Сдвиг, 1 - навесное устройство-2,1,0,0,-476,1,0
Однонаправлено, 3
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,11,37,1,0
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,38,86,1,0
Поворот, 1 - шиндель-1,0,0,154,59,1,0
Привязка, 1 - Патрон1-Патрончик+1, 1 - приспособл
Однонаправлено, 1
Сдвиг, 1 - навесное устройство-2,1,0,0,200,1,0
Однонаправлено, 3
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,31,22,1,0
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,-6,64,1,0
Поворот, 1 - шиндель-1,0,0,-30,58,1,0
Сдвиг, 1 - навесное устройство-2,1,0,0,-200,1,0
Привязка, 1 - патрон большой-1, 1 - шиндель-1
Однонаправлено, 3
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,19,37,1,0
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,-41,71,1,0
Поворот, 1 - шиндель-1,0,0,22,34,1,0
Сдвиг, 1 - навесное устройство-2,1,0,0,476,1,0
Однонаправлено, 3
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,-39,13,1,0
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,154,59,1,0
Поворот, 1 - шиндель-1,0,0,-115,41,1,0
Сдвиг, 1 - навесное устройство-2,1,0,0,-287,14,1,0
Однонаправлено, 3
Сдвиг, 1 - большой кулачок-3,0,2,0,1,0
Сдвиг, 1 - большой кулачок-2,1,73,1,0,1,0
Сдвиг, 1 - большой кулачок-2,1,73,1,0,1,0
Привязка, 1 - ХУ5-15.5114-1, 1 - патрон большой-1
Однонаправлено, 1
Сдвиг, 1 - навесное устройство-2,1,0,0,287,14,1,0
Однонаправлено, 3
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,-42,47,1,0
Поворот, 1 - окисть-1,0,0,-93,83,1,0
Поворот, 1 - шиндель-1,0,0,135,97,1,0
Сдвиг, 1 - навесное устройство-2,1,0,0,-235,14,1,0
Привязка, 1 - ХУ5-15.5114-1, 1 - приспособление-2
Однонаправлено, 3
Сдвиг, 1 - большой кулачок-3,0,-2,0,1,0
Сдвиг, 1 - большой кулачок-2,1,73,1,0,1,0
Сдвиг, 1 - большой кулачок-1,1,-73,1,0,1,0
Сдвиг, 1 - большой кулачок-1,1,-73,1,0,1,0
Сдвиг, 1 - навесное устройство-2,1,0,0,235,14,1,0
Однонаправлено, 3
Сдвиг, 1 - большой кулачок-3,0,37,0,1,0
Сдвиг, 1 - большой кулачок-2,1,32,0,18,5,0,1,0
Сдвиг, 1 - большой кулачок-1,32,04,-18,5,0,1,0
Привязка, 1 - ШУ-517-37,1,1 - приспособление-1-2
Привязка, 1 - ШУ-517-10,1,1 - приспособление-1-2
Привязка, 1 - ХУ5-15.5102-1,1 - приспособление-1-2
Привязка, 1 - ХУ5-15.5101-1,1 - приспособление-1-2
Привязка, 1 - ШУ-517-37,1,1 - приспособление-1-2
Привязка, 1 - ШУ-517-37,1,1 - приспособление-1-2
Привязка, 1 - Вент ГОСТ 11738-84 Исполнение 1-5,1
Привязка, 1 - Вент ГОСТ 11738-84 Исполнение 1-4,1
Привязка, 1 - Вент ГОСТ 11738-84 Исполнение 1-5,1

Рис. 4.10. Програма моделювання роботи діляки складання вузла «Привід генератора»

Для кожного з варіантів виконано моделювання процесів складання вузла, в результаті якого отримано: діаграму Ганта (приклад - рис. 4.11); графіки завантаження обладнання в часі, що розташовано на ділянці (приклади - рис. 4.12, 4.13); графіки затрат енергії засобів механізації і автоматизації процесу складання та транспортування виробів на ділянці в часі (приклади - рис. 4.14, 4.15).

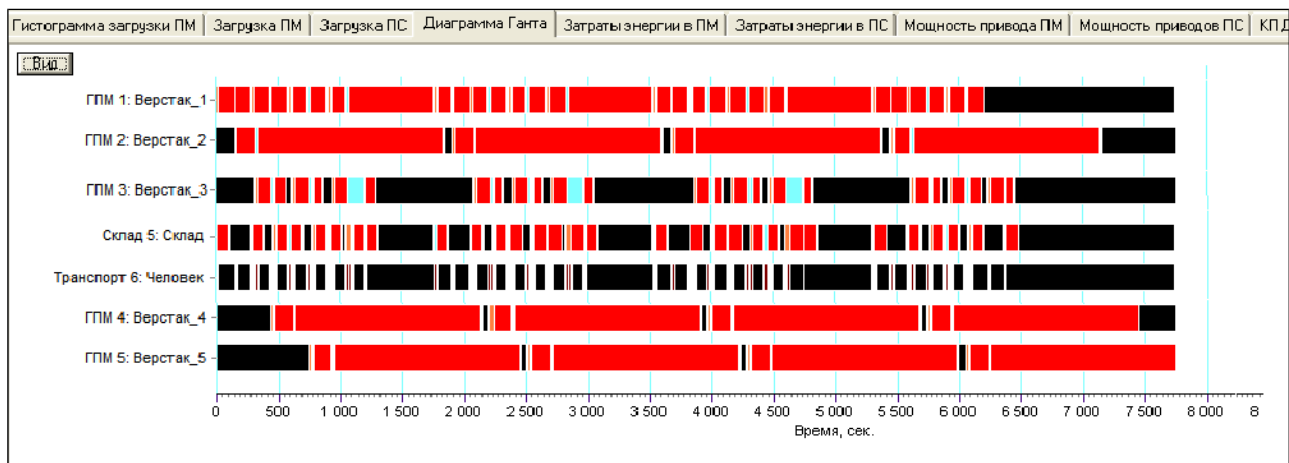
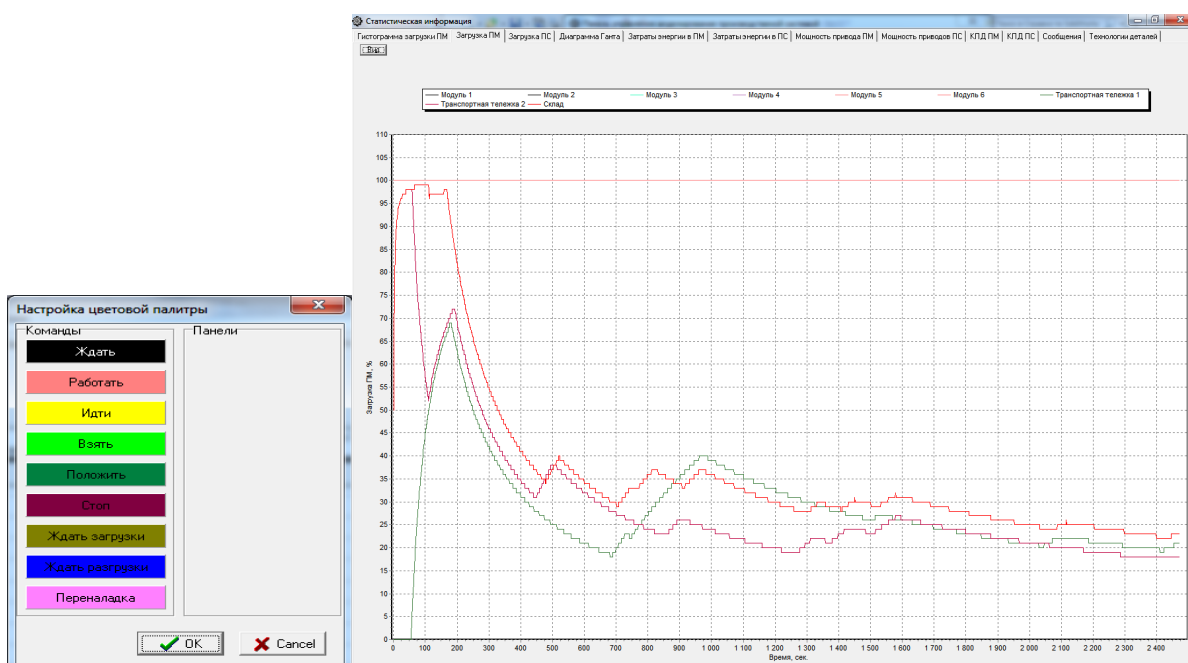


Рис. 4.11. Діаграма Ганта роботи складальної ділянки, що має п'ять верстаків



А). Етапи складання

Б). Графік завантаження обладнання ділянки

Рис. 4.12. Графік завантаження обладнання ділянки, що має п'ять верстаків



Рис. 4.13 Графік завантаження підсистем (складальної, транспортної, складської) системи складання, що має п'ять верстаків

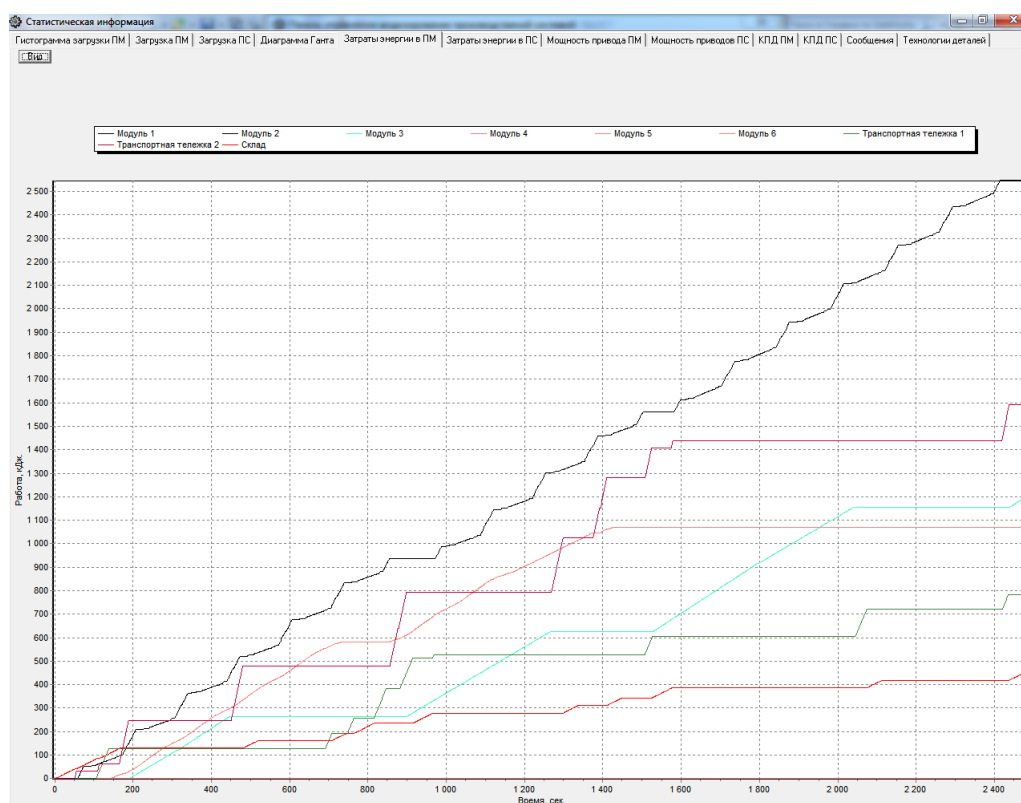


Рис. 4.14. Графік затрат енергії на складання засобів механізації і автоматизації процесу складання та транспортування виробів на ділянці

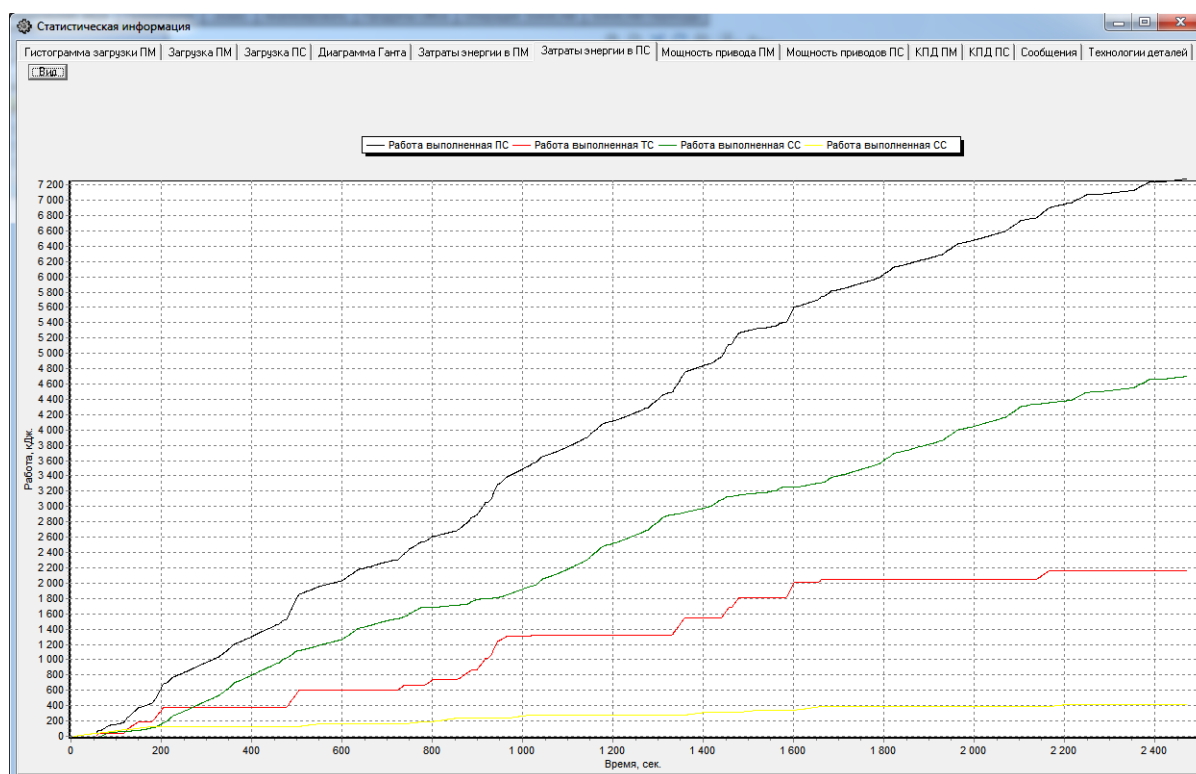


Рис. 4.15 Графік затрат енергії підсистем (складальної, транспортної, складської) системи складання, що має п'ять верстаків

В результаті моделювання отримані параметри систем складання для технологічних процесів з різними структурами та розташування обладнання, що представлені на рис. 4.16.

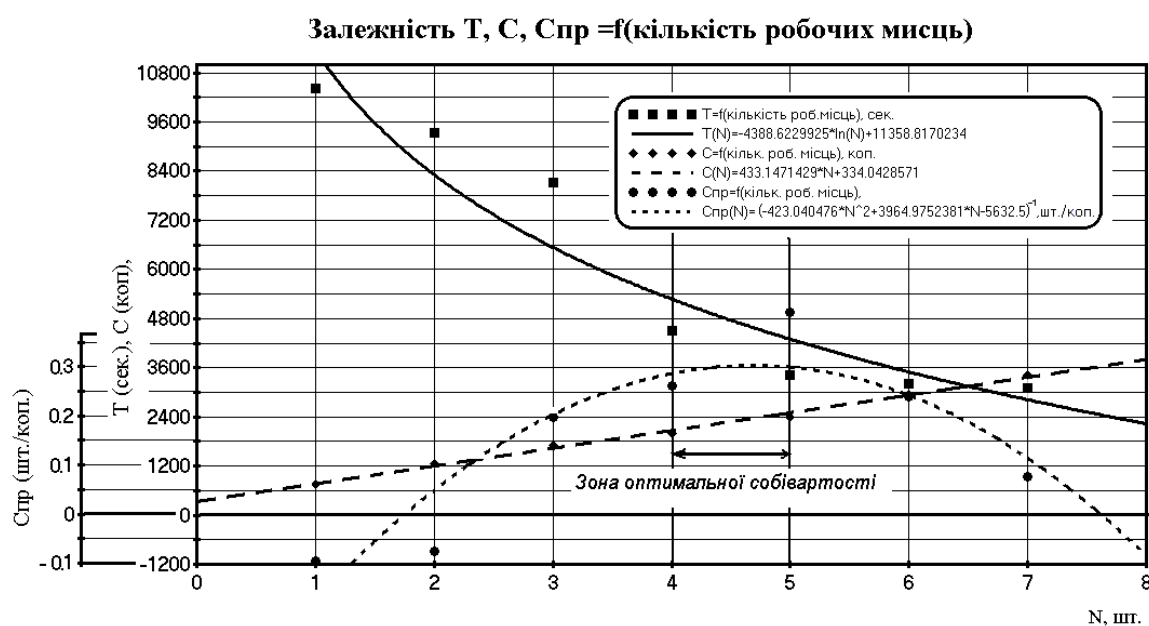


Рис. 4.16. Залежність між часом складання виробу (T) і кількістю виробів, що приходяться на одиницю затрат ($C_{пр}$) та кількістю робочих місць

Результати моделювання довели, що тривалість складання виробу (T) обернено пропорційна кількості робочих місць, на яких виконується Складання (N), рис. 4.16:

$$T = -4388.6 \times \ln(N) + 113581.8 \quad . \quad \partial \quad (\quad .39)$$

При цьому збільшуються затрати коштів (C) на забезпечення технологічного процесу, рис. 4.16:

$$C = 433.1 \times N + 334.04 \text{ коп.} \quad (\quad \partial.40)$$

Тоді комплексний параметр, який зв'язує кількість виробів, що припадає на одиницю затрат на виробництво (C_{np}) має екстремальну залежності від кількості робочих місць (N), рис. 4.16:

$$C_{np} = (-423.04 \times N^2 + 3964.97 \times N - 5632.5)^{-1} \text{ шт. / коп.} \quad (\quad \partial.41)$$

Аналіз функції $C_{np}(N)$ дає можливість стверджувати, що оптимальна структура системи складання вузла «Привід генератора» може мати 4-5 робочих місць. Подальший аналіз цього процесу дозволив сформулювати оптимальний, для даних технологічних умов, технологічний процес складання і виконати його документування в системі ТехноПро 5+.

ДОДАТОК Д

ДОДАТОК Е

ДОДАТОК Є